

Einbruchs- und Senkungserscheinungen über einem ehemaligen Braunkohle-Tiefbaufeld.

(Zeche Freudenthal bei Oberkaufungen/Kassel)

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Würde eines Doktors

der Naturwissenschaften

des Fachbereichs Geowissenschaften

der Philipps-Universität Marburg/Lahn

vorgelegt von

Henner Stade

aus Bitterfeld

Marburg/Lahn 1973

Einbruchs- und Senkungserscheinungen über einem ehemaligen Braunkohle-Tiefbaufeld.

(Zeche Freudenthal bei Oberkaufungen/Kassel)

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Würde eines Doktors

der Naturwissenschaften

des Fachbereichs Geowissenschaften

der Philipps-Universität Marburg/Lahn

vorgelegt von

Henner Staude

aus Bitterfeld

Marburg/Lahn 1973

Fotodruck: Erich Mauersberger, Marburg

Vom Fachbereich Geowissenschaften der Philipps-Universität
Marburg/Lahn als

Dissertation angenommen am: 26. 1. 73

Tag der mündlichen Prüfung am: 30. 1. 73

Berichterstatter: Prof. Dr. Lindström

Mitberichterstatter: Dr. Prinz



Meinen Eltern
in Dankbarkeit



Digitized by the Internet Archive
in 2026

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
1.0	ZUSAMMENFASSUNG	1
2.0	EINLEITUNG	3
3.0	LAGE DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES UND SEINE STRATIGRAPHISCH-TEKTONISCHE STELLUNG IM RAHMEN DES KAUFUNGER TERTIÄRS	5
4.0	BERGBAULICHE TÄTIGKEIT IM RAUM FREU- DENTHAL-MITTELTHAL UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DES TAGEBAU- BEREICHES	9
5.0	SCHICHTENFOLGE IM TAGEBAU	14
5.1	<u>Profile aus Abbauwänden</u>	14
5.2	<u>Lagerungsverhältnisse nach Bohr- unterlagen</u>	17
5.3	<u>Zusammenfassende Erläuterung</u>	19
6.0	EINBRUCHSSTRUKTUREN IM TAGEBAU	20
6.1	<u>Verfüllungen aus Lockermaterial</u> ...	20
6.2	<u>Tonige Bruchkörper</u>	27
6.3	<u>Schlote</u>	31
6.4	<u>Strukturen sekundärer Bewegung</u>	37

7.0	LUFTBILD-ANALYSEN VOM TAGEBAU- BEREICH	39
8.0	BODENMECHANISCHE UNTERSUCHUNGEN AN TONEN DES TAGEBAUS	45
8.1	<u>Voraussetzungen</u>	45
8.2	<u>Kolloidale Aktivität</u>	52
8.3	<u>Natürlicher Wassergehalt (w_n), Sättigungsgrad (S_w) und Korn- größenverteilung</u>	55
8.4	<u>Zum Konsolidationsverhalten der Tone</u>	61
8.5	<u>Scherfestigkeit der Tone</u>	64
8.5.1	Zylinderdruckfestigkeit	64
8.5.2	Scherfestigkeit im CU-Versuch	66
8.5.3	Kohäsion und Reibungswinkel	69
8.5.4	Verhalten bei unterschiedlichen Belastungsraten	72
8.6	<u>Folgerungen aus bodenmechanischen Untersuchungsergebnissen</u>	77
9.0	BEWEGUNGSVORGÄNGE IM BERGSENKUNGS- FELD MITTELTHAL IN RÄUMLICHER UND ZEITLICHER SICHT	83

9.1	<u>Angaben zum alten Bergbau</u>	83
9.2	<u>Mechanismen der Bruchvorgänge</u>	84
9.3	<u>Zeitliche Aspekte der Bruch-</u> <u>vorgänge</u>	87
10.0	LITERATURVERZEICHNIS	88
11.0	ANHANG	95
11.1	<u>Scher-Diagramme</u>	95
11.2	<u>Bohr-Unterlagen</u>	105

1.0 ZUSAMMENFASSUNG

Im Braunkohle-Tagebau Mittelthal bei Oberkaufungen/Kassel, angelegt in einem ehemaligen Tiefbaugebiet mit zwei Gewinnungsphasen (Weitungsbaue bis 1905 und abgewandelter Pfeilerbruchbau 1921 - 23), wurden in vertikalen Schnitten eine Vielzahl von Einbruchstrukturen in den vorwiegend tonigen, insgesamt 12 bis 15 m mächtigen Deckschichten aufgenommen.

Entsprechend den beobachteten Merkmalen kann eine zeitliche und räumliche Abfolge der Bruchvorgänge in die aufgeweiteten Strecken (Breite: 3-4 m) und Kammern (Grundfläche: 15-40 m²) angegeben werden:

1. Blockartiges Nachbrechen der Deckenkohle des Hauptflözes mit unregelmäßiger Ablagerung (Deckenbruchkohle).

2. Fortschreitende Verfüllung des Hohlraumes mit Sand und Kohle-Grus in Wechsel-Schrägschichtung. Seitliches Zuwandern von Hangend-Sanden unter flachem Winkel und Einrieseln von Sand nach "Eieruhr-Effekt".

3. Nachdrücken der tonigen Hangend-Schichten; zuletzt in Propfenform an ausgeprägten Scherflächen.

4. Scharf begrenzte tonige Bruchkörper brechen an gestaffelten Scherflächen bis zur Erdoberfläche durch. Die Grenzwinkel dieser Flächen liegen zwischen 60° und 90° und sind schichtungsabhängig. Plastische Ausgleichsbewegungen sind bei den vorliegenden Deckgebirgsmächtigkeiten nur von geringer Bedeutung.

Luftbild-Analysen nach zwei Überfliegungen (1953 und 1959) lassen schon aus der Morphologie der Geländeoberfläche vor Anlage des Tagebaus Rückschlüsse auf zeitliche und räumliche Bruchabläufe zu. Sie zeigen vor allem, daß die Bewegungsvorgänge durch den alten Bergbau zwischen 1953 und 1959 noch nicht abgeschlossen waren.

Nach den Aufschlußverhältnissen waren 1970/71 keine Resthohlräume mehr festzustellen.

Bodenmechanische Untersuchungen an 22 ungestörten Tonproben aus den Einbruchstrukturen über dem Hauptflöz und aus zwei zugehörigen Einbruchszonen im Flöz zeigen eine unterschiedlich starke Abminderung der Reibungswinkel des Materials aus den Tonpfropfen, die von der lokalen Scherbeanspruchung des Tones während der Bewegung abhängig ist. Tone aus den Einbruchstrukturen über dem Hauptflöz liefern Scherparameter für ein im Verband kaum gestörtes Vergleichsmaterial.

2.0 EINLEITUNG

Im Jahre 1969 wurde bei Oberkaufungen/Kassel ein ehemaliger Braunkohle-Tiefbau durch einen Tagebau angeschnitten. Diese Aufschlüsse ließen interessante Erkenntnisse über das Verhalten des Deckgebirges über Bergbauhohlräumen erwarten; Ergebnisse, die für die Frage einer Bebauung solcher Bergbaufelder von großer Bedeutung sein können.

Im Juni 1970 erhielt ich von Herrn Dr. PRINZ mit freundlicher Unterstützung durch meinen verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. LINDSTRÖM das Thema zu vorliegender Arbeit, deren Ziel es ist, die Nachbruchs- und Senkungserscheinungen in Lockergesteinen über bergbaulichen Hohlräumen bezüglich des Bewegungsvorganges und der zeitlichen Abfolge zu untersuchen und darzustellen.

Im Verlauf der Untersuchung wurden drei Arbeitswege beschrieben:

- eine Aufnahme der Strukturschnitte in den vorrückenden Abbaufrenten des Tagebaus,
- eine Luftbild-Auswertung der Oberflächenformen des Gebietes vor Anlage des Tagebaus,
- eine bodenmechanische Untersuchung an ungestörten Bodenproben aus verschiedenen Niveaus abgesenkter Braunkohle-Deckschichten.

Die Geländeaufnahmen wurden von Juni 1970 bis Mai 1971 durchgeführt.

Die bodenmechanischen Untersuchungen, die im Hessischen Landesamt für Bodenforschung in Wiesbaden durchzuführen mir in dankenswerter Weise Herr Prof. Dr. NÖRING ermöglichte, konnten im März 1972 zum Abschluß gebracht werden.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. PRINZ, der mir in vielen Diskussionen zahlreiche Anregungen vermittelte.

Der wohlwollende Beistand der Betriebsleitung der Zeche Freudenthal der Freiherr Waitz von Eschen KG, Kassel, die mir Bohr- und Markscheider-Unterlagen zur Verfügung stellte, soll hervorgehoben werden.

Weiterhin erinnere ich mich in Dankbarkeit an Herrn Bergwerksdirektor a.D. RÖHLER, der aus seinem reichhaltigen Erfahrungsschatz mir ergänzende Angaben zur historischen und technischen Entwicklung des Kaufunger Bergbaus machen konnte.

Herrn Dipl. Geologen VORTISCH bin ich für technische Ratsschläge und Auswertungen in Zusammenhang mit röntgenologischen Analysen sehr verbunden.

Herrn Oberreg.-Rat MÜLLER danke ich für die Durchsicht der bodenmechanischen Kapitel der Arbeit.

3.0 LAGE DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES UND SEINE STRATIGRAPHISCH- TEKTONISCHE STELLUNG IM RAHMEN DES KAUFUNGER TERTIÄRS

Der zu untersuchende Teilabschnitt des Feldes Mittelthal gehört zur Zeche Freudenthal der Freiherr Waitz von Eschen KG, Kassel. Der Tagebau liegt rund 2 km nördlich der Ortschaft Oberkaufungen an einem flachen Hang (Abb. 1).

Das nähere Untersuchungsgebiet liegt am Rande der Freudenthaler Mulde, ein tektonisches Senkungs- und Einbruchsgebiet mit tertiärer Füllung, das durch NNE-verlaufende Störungen vom Kasseler Röt-Muschelkalk-Graben isoliert ist.

Die Hauptverwerfungen, die eine Abtrennung dieser noch in sich gegliederten strukturellen Einheit vom "herzynisch" streichenden (SSE) Kasseler Graben, dessen mobile Phase ungefähr in jungkimmerische Zeit (Ende Jura) gestellt wird, ersichtlich machen, sind jünger als die in ihr vertretene "miozäne" Braunkohlenstufe.

Generalisiert stellt die Mulde eine schüsselförmige Einsenkung dar, deren Ränder durch Verwerfungen gestört sind, und deren Zentralbereich durch einen NNE-streichenden Sattel zusätzlich untergliedert ist. An der E-Flanke der Mulde liegt das Tertiär, abgesehen von einem nur kurz durchhaltenden Begrenzungssprung im Norden, ungestört auf mittlerem Buntsandstein des Kaufunger Waldes.

Das in der Übersichtsskizze (Abb. 2) aufgeführte Ausstreichen der beiden bergbaulich wichtigsten Flöze der tertiären Folge trägt dazu bei, diese Strukturform zu verdeutlichen.

BAATZ (1959) vermutet, daß diese Muldenstruktur auf Auslaugung von Salzen des Zechsteins im tieferen Untergrund zurückzuführen ist.

Der Freudenthaler Hauptsprung, das wichtigste tektonische, trennende Element im Streichen der Mulde und auf voller Länge vom Bergbau berührt, liegt unmittelbar südlich des

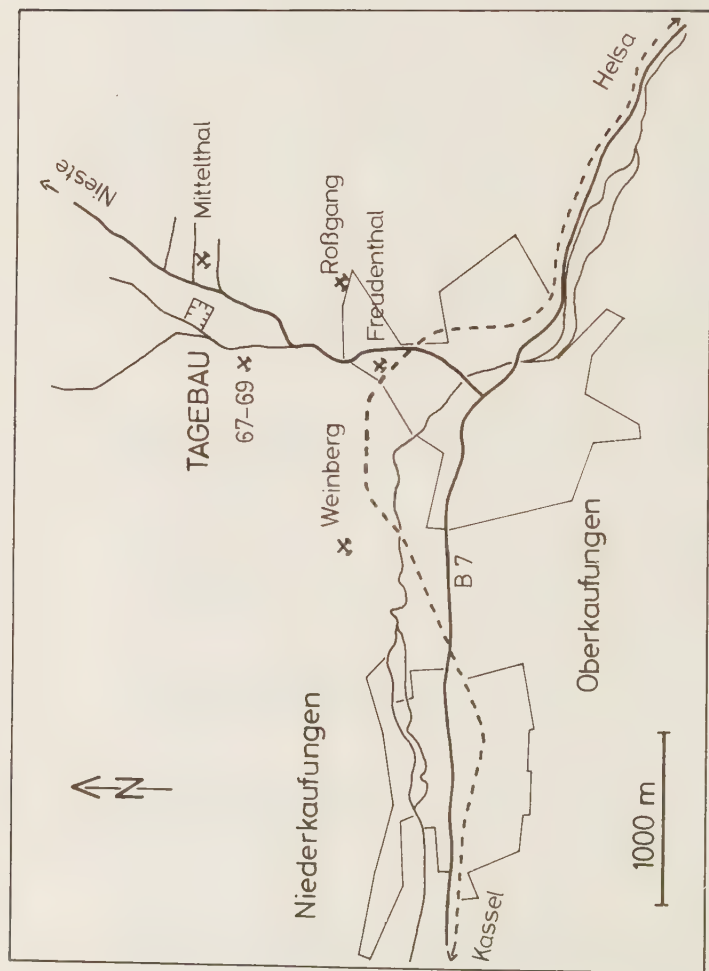


Abb. 1

Lage des Untersuchungsgebietes (Tagebau Mittelthal bei Oberkaufungen)

Tagebaubereiches Mittelthal für eine kurze Distanz unter Umkippen seines Einfallens von NNE auf NNW um - eine Tatsache, die sich in der Klüftung der beiden abbauwürdigen miozänen Flöze (Ober- und Hauptflöz) widerspiegelt:

ein Maximum der bipolaren Kluftausrichtung weist auf 165 W, während das andere auf 55 E zeigt. Das steile Einfallen dieser Flächen - 60-75 E - ist charakteristisch für die bekannte Neigung in diesem Bereich des Hauptsprunges.

Im NW-Teil der Freudenthaler Mulde, im Gebiet des zu beschreibenden Tagebaus, erscheint ein vom Gesamtkomplex abgetrennter Grabeneinbruch mit miozänem Anteil in den Hangend-Schichten, der nach Süden einen flexurartigen Übergang aufweist, und dessen Schichten sich allmählich nach Norden herausheben. Die zum Liegenden konvergierenden Randverwerfungen versetzen im Westen gegen Röt und im Osten gegen einen nach Norden auskeilenden Horst, aufgebaut aus Sedimenten des kohleführenden Unteroligozäns (mit dem bergbaulich wichtigen Unterflöz) und des kohlefreien Mittloligozäns.

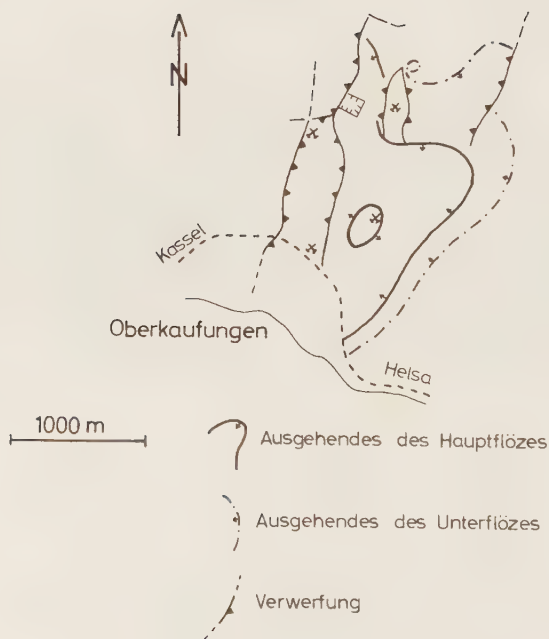


Abb. 2
Übersichtsskizze der Freudenthaler Mulde mit
Ausstreichen von Haupt- und Unterflöz (nach BAATZ, 1959)

4.0 BERGBAULICHE TÄTIGKEIT IM RAUM FREUDENTHAL-MITTELTHAL UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DES TAGEBAU-BEREICHES

Als im 16. Jahrhundert die nordhessischen Wälder sich aufgrund des planlosen Raubbaus zu lichten drohten, boten die neu entdeckten Braunkohle-Lagerstätten einen willkommenen Ersatz als Energielieferant im Verhüttungswesen (vorwiegend Eisen, Metalle und Glas).

Die seit 1552 im Gebiet Freudenthal im Tiefbau (Duckel- und Stollenbau) beginnende Braunkohlen-Gewinnung war jedoch vorwiegend auf die Erzeugung von Alaun ausgerichtet, da man erkannt hatte, daß die dortige Kohle einen nicht unbeträchtlichen Anteil an Markasit enthält.

Der technische Vorgang beinhaltete einen halb- bis einjährigen, langsamen Röstungsprozess der Kohle, sodaß sich Schwefelkies zu Alaun zersetzen konnte. Durch Auslaugen wurde dieses dem Röstgut entzogen (LANDAU, 1853).

Ab Mitte des 18. Jahrhunderts verlagerte sich die Zielsetzung der Abbautätigkeit mehr und mehr auf Hausbrandkohle. Ungefähr in diese Zeit fällt die Anlage eines Tiefbaus, der nördlich des jetzigen Tagebaus Mittelthal angesetzt wurde. Er folgte dem nach Süden gerichteten Einfallen des miozänen Hauptflözes, ohne daß größere Deckgebirgsmächtigkeiten durchörtert werden mußten. Über seine Streckenverläufe liegen keine Angaben mehr vor.

Eine spezielle Wasserhaltung für diesen Bergbau war nicht notwendig, da die Stollen über die Liegend-Sande des Hauptflözes entwässert wurden.

Die Gewinnung der Kohle erfolgte im sogenannten Weitungsbau - ein Verfahren, bei dem zueinander parallele Strecken aufgefahen wurden, die örtlich kammerartig verbreitert wurden.

Der Streckenverbau, vorwiegend Buchenrundhölzer, wurde auf ein Minimum beschränkt, da das Flöz eine hohe Standsicher-

heit hatte. Weitungen blieben häufig unverbaut offen stehen. Einzelheiten dieses Abbauverfahrens sind nicht überliefert. Genaue Daten für den Abschluß dieser Bergbauperiode stehen nicht zur Verfügung, doch kann angenommen werden, daß in Zusammenhang mit den Ereignissen der französischen Revolution und den nachfolgenden Befreiungskriegen der Betrieb eingestellt bzw. unterbrochen wurde (BARTHOLMAI, 1936).

Die nächste Phase bergbaulicher Tätigkeit umfaßt, bezogen auf das Gesamtfeld Freudenthal-Mittelthal, den Zeitraum bis 1926. Sie beginnt mit der ersten Schachthanlage größeren Ausmaßes, dem "Roßgang" (1813-23), der 28 m ins Liegende abgeteuft, und von dem aus Querschächte zur Gewinnung der Hauptflöz-Kohle aufgefahren wurden.

Ein zum Lossetal hinführender "Paßstollen" (SW-Richtung) wurde zur Grundlage der Wasserhaltung des Tiefbaugebietes Freudenthal bis ins 20. Jahrhundert hinein.

Im Rahmen dieses Bergbaus wurde von Süden her ein System vorwiegend paralleler Strecken bis in den späteren Tagebau-Bereich vorgetrieben. Immer noch wurde auf der Grundlage des Weitungsbaus gearbeitet, doch hinsichtlich der Streckenauskleidung benutzte man mehr und mehr Nadelhölzer, da diese eine bessere Warnfähigkeit und Biegefestigkeit besitzen.

Einige Schrägstollen, deren Ausgänge heute nicht mehr exakt zu lokalisieren sind, schafften Verbindung zur Erdoberfläche. Schächte wurden nur zur Bewetterung abgeteuft.

Die Förderung der Kohle entlang den nur schwach geneigten Strecken (wenige cm/m) erfolgte entweder in vierradrigen Hunden (Hinterräder größer als die vorderen) oder im Karrenbetrieb auf hölzernen Gleisen. Karren wurden vor allem in abgelegenen Streckenteilen und dort eingesetzt, wo der Gleisausbau zu Schaden gekommen war (BARTHOLMAI, 1936).

Senkungs- bzw. Brucherscheinungen, die unmittelbar dieser bergbaulichen Tätigkeit zuzurechnen sind, sind nur mit

einem gesicherten Beispiel belegt. Im Jahre 1898 entstand in der Nähe der Straße Oberkaufungen-Nieste kurzfristig ein Oberflächeneinbruch mit ungefähr 10 m Durchmesser.

Im Rahmen dieser Abbauperiode wurde der Bergbau, der den Tagebau unterfuhr, im Jahre 1905 eingestellt.

Die Abbauperiode 1921-23 war ein reiner "Nachlesebergbau", der versuchte, die Restkohlebestände der beiden früheren Gewinnungsphasen auszubeuten.

Er ging von einem Schrägstollen östlich der Straße Oberkaufungen-Nieste aus und unterfuhr diese in westlicher Richtung.

Prinzipiell handelt es sich noch um einen Weitungsbau, doch Übergänge zu dem inzwischen in den mitteldeutschen Revieren entwickelten Pfeilerbruchbau sind vorhanden.

Bei letzterem werden von verbauten Pfeilerstrecken abgestützte Abbaustrecken vorgetrieben. Über diese erfolgt die Kohle-Gewinnung, indem man rückschreitend in zwei- bis dreifacher Streckenbreite quadratische bis rechteckige, vorübergehend abgesicherte Kammern anlegt. Nach Ausraubung des Kammerverbaus der ausgekohlten "Brüche" brechen die Flözhangend-Teile und das Deckgebirge ein. Der Abbau erfolgt auf breiter Front in einer zeitlich und räumlich abgestimmten Reihenfolge. Die stehengebliebenen "Kohlebeine" - die Sicherheitspfeiler - nehmen, je nach lokaler Standfestigkeit der Kohle, 30-60 % des Gesamtvorrates ein (STECKHAN, 1952).

Im Feld Mittelthal hebt das Hauptflöz nach Nordosten heraus. Daher erschloß man 1921-23 zuerst die dortigen randlichen Bereiche des Vorkommens durch sogenannte "Vorrichtungsstrecken", die dem Streichen der Kohle folgten.

Parallel zu diesen wurden, nach Südwesten vorrückend, in angemessenen Sicherheitsabständen neue Strecken aufgeföhren, die man durch vorwiegend rechtwinklig abzweigende Querschläge untereinander verband. So entstand nach und

nach ein mehr oder weniger schachbrettartiges Muster von stehengebliebenen Sicherheitspfeilern nach den beiden Hauptrichtungen der Streckenführung (vergl. Abb. 22).

Dem Streichen der Kohle folgend konnte man, im Niveau des Flözes verbleibend, Abbau- und Förderwege minimaler Steigung schaffen; denn immer noch wurden die Grubenhunde, jetzt auf eisernem Gleisunterbau, per Hand bewegt.

Damit ist die jüngste Tiefbauphase, die den späteren Tagebau berührte, abgeschlossen (lt. Angaben von Bergwerksdirektor a. D. RÖHLER).

1966 wurde damit begonnen, südwestlich des Untersuchungsgebietes einen Schacht abzuteufen, dessen Sohle schließlich 19 m untertage lag. Der zwischen 1967 und 1969 durchgeführte Abbau erwies sich als wirtschaftlich, da Flözmächtigkeiten der miozänen Kohle bis zu 16 m angetroffen wurden.

Er scheiterte jedoch an der Wasserhaltung. Die Schachtsohle lag mit 174 m ü. NN 24 m unter dem Entwässerungsniveau des "Paßstollens". Nach Durchfahren der wenig wasserwirksamen Schichten, die durch den Freudenthaler Hauptsprung gegenüber der südöstlichen Freudenthaler Mulde um einige Zehner von Metern versetzt waren, war der Wasserandrang über hydraulischen Grundbruch nicht mehr zu bewältigen. Mit rasch abgeteuften Brunnenbohrungen konnte nur kurzfristig Erfolg verbucht werden, so daß 1969 der Bergbau endgültig aufgegeben werden mußte.

Im gleichen Jahr entschloß sich die Betriebsleitung der Zeche Freudenthal zur Anlage eines Tagebaus in einem Bereich, in dem nur noch Restkohlebestände zu erwarten waren. Da durch die Kriegssereignisse keine genauen Grubenpläne mit Angaben über ausgekohlte Zonen mehr zur Verfügung standen, mußte sich bei der Vorratsberechnung weitgehend auf ältere und neu hinzugekommene Bohrungen gestützt werden. Daher erwies sich der spätere Abbau als äußerst schwierig.

Die Auskohlung des 1.7 m mächtigen Oberflözes, das zwar verbogen und auch lokal eingebrochen war, aber im Großen und Ganzen noch flächig verbreitet war, konnte mit Hilfe von Kopfladern auf breiter Front erfolgen.

Im 8-9 m starken Hauptflöz war dieses Vorgehen auf die Dauer zu unwirtschaftlich, da hier oft nur alte "Kohlebeine" umgeben von Bruchmaterial vorgefunden wurden.

Daher entschloß man sich häufig, die Deckschichten nur bis zur Flöz-Oberkante abzuheben, um gezielt unter Einsatz von Löffelbaggern von oben her auskohlen zu können.

Im Mai 1971 wurde auch dieser Betrieb eingestellt und wenig später die Wände des Tagebaus flach abgeböscht.

5.0 SCHICHTENFOLGE IM TAGEBAU

Die im Rahmen dieses Kapitels angeführten Zahlenwerte für die Mächtigkeit einzelner petrographischer Einheiten können nur als Pauschalangaben verstanden werden, da die durch den früheren Bergbau ausgelösten Absenkungen zu kleinräumigen Schichtverbiegungen, Materialdurchmischungen und Sackungen geführt haben.

Aus den nachfolgenden drei Profilen aus den Abbauwänden des Tagebaus können daher nur in beschränktem Umfange Vorstellungen über die räumlichen Lagerungsverhältnisse entwickelt werden. Sie geben jedoch einen zum Verständnis der später zu erläuternden Bewegungsvorgänge ausreichenden Überblick der petrographischen Abfolge.

Die Lage der Profilschnitte ist auf Abb. 22 dargestellt.

5.1 Profile aus Abbauwänden

Profil I:

cm

- 50 Löblehm: leicht sandig; in unteren Lagen mit vorwiegend Buntsandstein-Geröllen; daneben Basalt-Gerölle und untergeordnet Tertiärquarzite.
- 120 Ton: olivgrün bis grau; leicht schluffig; steifplastisch.
- 450 Fein-Mittelsand: oben hellgrau; zum Liegenden zunehmend eisenoxidisch verfärbt (gelbbraun); mitteldichte bis dichte Lagerung.
- 30 Ton: leicht schluffig-sandig; dünnsschichtig lamelliert durch Einschaltung schwarzgrauer, humoser Lagen (Farbwechsel von gelbbraun zu schwarzbraun); Kreuzschichtung feinsandiger Bänder; Erosionserscheinungen in Form kleiner Rinnen; steif.

cm

- 175 Braunkohle: (Oberflöz); bröcklig-grusig; dünnbankig; in geringem Umfang tonige, schwarzgraue Bänder.
- 780 Ton: olivgrün bis grau; häufig kohlige Stengel; Markasit-Nester; selten feinsandige Schlieren oder Linsen; steifplastisch bis halbfest.
- 80 Fein-Mittelsand: weißgrau; glimmerhaltig; schlecht abgerundete Einzelkörner; mitteldichte Lagerung.
- 800 Braunkohle (Hauptflöz): horizonteweise lignitisch; Bankungsstärke zwischen 10 und 30 cm; entlang der Klüftung ausgebleicht; Markasit-Konkretionen; große Standfestigkeit.

Profil II:

cm

- 80 Lehm: tonig-sandig; weich (durch Auffüllung künstlich veränderter Boden).
- 120 Ton: grünlich-grau; sandige Linsen und Schlieren; steif.
- 10 Ton: dunkelbraun; kohlig; steif.
- 30 Feinsand: durch kohligen Anteil graubraun; mitteldicht.
- 70 Feinsand: gelbbraun; mitteldicht.
- 20 Ton: schwarzbraun; schluffig; lamellierte Schichtung; humose Bänder; Kreuzschichtung; steif.
- 150 Braunkohle: (Oberflöz); grusig-bröcklig; kohlig-tonige Bänder.

cm

- 50 Ton: grau; leicht schluffig; halbfest.
- 10 Feinsand: grau; dicht.
- 50 Ton: grau; steif.
- 650 Ton: olivgrün; kohlige Schmitzen und Stengel; Markasitnester; steif.
- 60 Fein-Mittelsand: hellgrau; glimmerhaltig, mitteldicht.
- 600 Braunkohle (Hauptflöz): wie Prof. I.

Profil III:

cm

- 60 Ton: lehmig-sandig; weich (künstlich veränderter Boden).
- 10 Ton: schwarzbraun; kohlig; steif.
- 50 Ton: grünlich-grau; steif.
- 25 Ton: dunkelbraun; kohlig; steif.
- 190 Ton: grüngrau; vereinzelt Kohleschmitzen; Markasit-Konkretionen; steif.
- 30 Feinsand: gelbbraun; durchmischt mit grünlichen Tonbrocken; locker (gestörte Lagerung).
- 80 Feinsand: tonig; kohlige Bänder in gestörter Lagerung ("feingefältelt" durch kleindimensionale Sackungserscheinungen).
- 60 Feinsand: gelbbraun gefleckt; locker.
- 150 Schluff: dunkelbraun; tonig-sandig; helle Sandschlieren; feinverfältelte kohlige Bänder.

cm

- 120 Braunkohle (Oberflöz): Oberkante leicht eingebault;
entlang offener Spalten sandig-schluffiges Material;
- 620 Ton: grüngrau; Markasitnester; kohlige Schmitzen;
steif-halbfest.
- 30 Fein-Mittelsand: weißgrau; glimmerhaltig; locker.
- 500 Braunkohle (Hauptflöz): teilweise offene Kluftspalten.

Die Angaben des Profils III entsprechen einem Vertikalschnitt in 15 m Abstand von einer Begrenzung eines bergbaulich bedingten Einbruchs im Hauptflöz.

5.2 Lagerungsverhältnisse nach Bohrunterlagen

Zwei Profile, zusammengestellt nach Bohrunterlagen (Anhang S. 105), geben die rekonstruierten Lagerungsverhältnisse der miozänen Schichten bis in die Liegend-Sande des Hauptflözes wieder (Abb. 3 und 4). Die Rekonstruktion berücksichtigt den Versturz, der aus einzelnen Bohrungen abzulesen war. Unmittelbar für den Tagebau sind die Angaben der Bohrungen 5/62, 7/62 und 6/69 maßgeblich.

Wie aus dem Tagebau-Längsprofil über die Bohrungen 7/69 - 1/69 ersichtlich, taucht das Hauptflöz bei ziemlich gleichbleibender Mächtigkeit von ungefähr 9 m nach SSW ab.

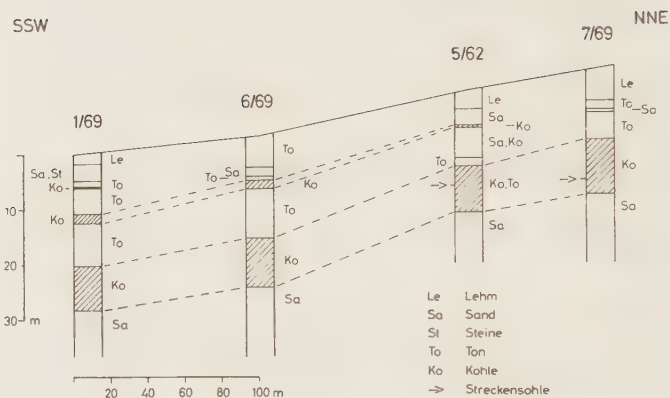


Abb. 3 Längsprofil im Tagebau-Bereich.

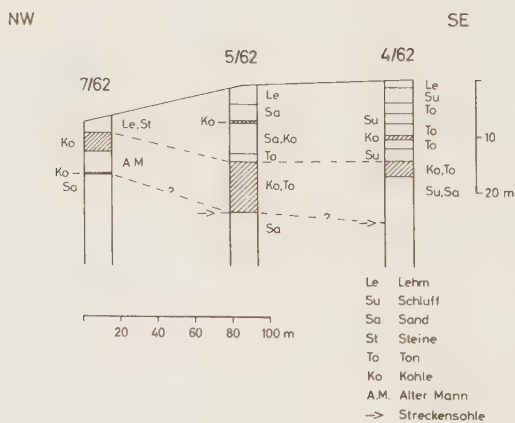


Abb. 4 Querprofil im Tagebau-Bereich.

Damit ist eine Zunahme der Deckschichtenmächtigkeit von 13 auf 21 m verbunden.

Das rechtwinklig schneidende Tagebau-Querprofil (4/62 - 7/62) weist auf ein Herausheben der Schichten nach NW hin. Hierbei verringert sich die Dicke der Hauptflöz-Hangendschichten von 14 auf 3 m. Das Oberflöz keilt nach Westen aus.

5.3 Zusammenfassende Erläuterung

Rückblickend soll noch einmal auf die charakteristischsten Merkmale der dargestellten Schichtenfolge eingegangen werden.

Das Hangende des Oberflözes ist durch eine Wechsellagerung zwischen tonig-kohligen und sandigen Schichten gekennzeichnet. Seine Mächtigkeit schwankt zwischen 3 und 7 m.

Als weitere petrographische Einheiten zum Liegenden folgen: ein 20-30 cm dicker humoser, sandig gebänderter Ton; die tonig-kohlige Überlagerung des Oberflözes,

ein 120-175 cm starkes Oberflöz von geringer Standfestigkeit mit gelegentlichen tonigen Bändern,

ein durchschnittlich 650-800 cm mächtiger grüngrauer, steifer bis halbfester Ton mit kohligen Stengeln und Markasitnestern und gelegentlichen fein-mittelsandigen, sich deutlich von der tonigen Umgebung absetzenden Linsen,

ein 30-80 cm dicker glimmerhaltiger Fein-Mittelsand,

und ein 800-900 cm starkes, sehr standfestes Hauptflöz mit nesterartig angereicherten Markasit-Konkretionen und horizonteweise stark lignitischer Kohle in 10-30 cm - Bankung.

6.0 EINBRUCHSSTRUKTUREN IM TAGEBAU

Die im Verlauf der Braunkohle-Gewinnung im Tagebau vorrückenden Abbaufrenten schlossen im Hauptflöz-Bereich ständig variierende Formen von Kohlepfeilern umgeben von Bruchmaterial auf. Es war daher eine Frage der kontinuierlichen Aufnahme des Aufschlußangebotes, sich ein umfassendes Bild der zeitlichen und räumlichen Bewegungsereignisse zu verschaffen.

Die Einbruchsvorgänge in bergbauliche Hohlräume des Hauptflözes lassen sich in

Verfüllungsvorgänge durch Lockermaterial,
Ausbildung toniger Bruchkörper,
Entstehung von Schloten,
Sekundärbewegungen untergliedern.

Diese Reihenfolge gibt grob umrissen auch den zeitlichen Ablauf des Geschehens wieder (Näheres Kap. 9.2; 9.3).

Diese einzelnen Phasen sollen beispielhaft durch das nachfolgende Bildmaterial erläutert werden.

6.1 Verfüllungen aus Lockermaterial

Die Abb. 5 zeigt einen typischen Einbruch in eine im Verlauf der Kohle-Gewinnung ausgeweitete Strecke. Die leicht schräg liegenden Begrenzungswände des Abbaus folgen natürlichen Kluftflächen einer der beiden Hauptklufttrichtungen im Tagebau (165/85 E, vrgl. S. 7).

Die oberen Begrenzungsränder sind offensichtlich abgebrochen. Die auf dem Photo sichtbare, durch Sand fast überdeckte Kohle-Partie in der Einsenkung gehört schon zur Deckenbruchkohle der ehemaligen Strecke.

Die Einbruchsfüllung besteht vorwiegend aus dem das Hauptflöz überlagernden Fein-Mittelsand. Diese in natürlicher Lagerung durchschnittlich 50 cm starke Sandschicht fehlt beidseitig der Streckenbegrenzungen auf 3.5 bzw. 3.8 m fast völlig und setzt erst dann wieder mit flachem Anstieg ein ($\pm 20^\circ$).

Ein zahlenmäßiger Vergleich der Sandmenge im Einbruch (gemittelte Schnittfläche 6.6 m^2) mit der fehlenden Sandmenge aus der hangenden Sandschicht (Schnittfläche 6.5 m^2) weist gute Übereinstimmung auf. Ein derartig flaches Beifließen von Sand ist allerdings nur unter örtlichem Wassertrieb vorstellbar.

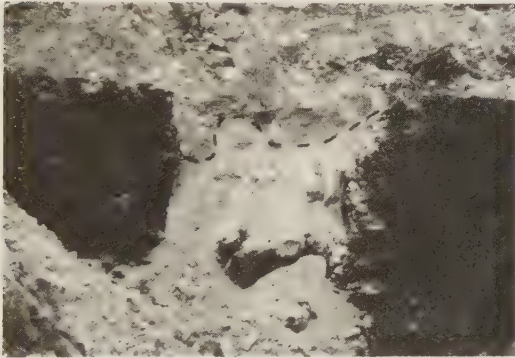


Abb. 5

Querschnitt einer ausgeweiteten Strecke mit Verfüllung durch Hangendsand des Hauptflözes.
Mittlere Breite: 3.3 m

Die gestrichelte Linie auf dem Photo gibt die Abgrenzung gegen einen nachdrückenden Tonpfropfen aus den Hangendschichten wieder. Danach handelt es sich um einen zweiphasigen Setzungs Vorgang.

In der ersten Phase ist der Fein-Mittelsand eingebrochen bzw. eingetrieben worden. Darüber hat sich der hangende Ton gelegt. Durch Konsolidation und Einsacken des zunächst locker gelagerten Sandes ist der Ton in den ehemaligen Hohlraum eingedrungen. Die unregelmäßige Untergrenze des Pfropfens ist mit einer unterschiedlichen Sandmächtigkeit im Einbruch zu erklären.

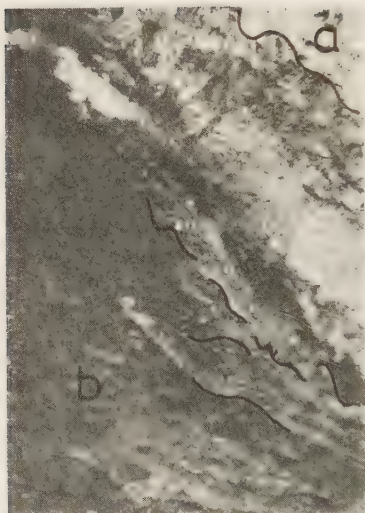


Abb. 6
Schrägschichtungsgefüge
in einem Kammereinbruch.
Breite des Bildausschnittes:
ca. 2.5 m

Die Abb. 6 zeigt einen Ausschnitt eines großen Kammereinbruches. Für den größten Teil des Bildes ist die Wechsellagerung Sand-Kohle charakteristisch.

Zuunterst (b) befindet sich ca. 1.5 m Kohle in chaotischer Lagerung, die offensichtlich von der Kammerdecke herabgestürzt ist.

In der darüberliegenden schrägschichteten Kohle nimmt die Stückgröße vom Liegenden zum Hangenden ab, bis im oberen Teil der Gruskohle-Anteil überwiegt.

Im höchsten Teil der Schüttung tritt Kohle immer mehr zurück und wird durch Sand und schließlich Ton (a) abgelöst.

Nach den oben beschriebenen Merkmalen kan man sich den Bewegungsablauf der Bruchmassen in den ehemaligen Hohlraum folgendermaßen vorstellen:

Der Nachbruch der Deckenkohle erfolgte im Zuge des Raubens der Strebhölzer zunächst im linken Bildteil (b).

Über diese Kohle rieselte oder rutschte mit schräger Oberfläche ein Gemisch von feiner Gruskohle und Sand mit nach oben zunehmenden Sandanteil ein.

Abschließend sackte der Hangendton nach.

Die auf der Abbildung nachgezeichneten lokalen Schichtverbiegungen deuten auf eine Konsolidation des lockeren Schüttungskörpers nach Ablagerung hin.

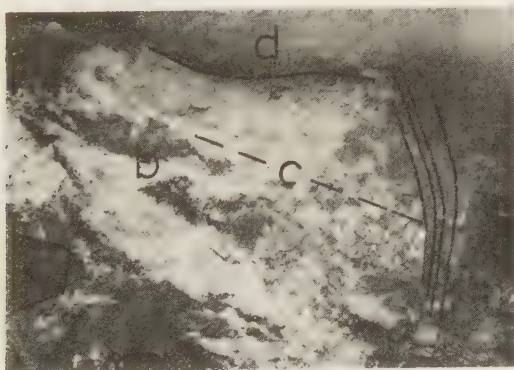


Abb. 7

Schnitt eines Kammereinbruches.

Bildausschnittsbreite: ca. 6.5 m

Die Abb. 7 zeigt ebenfalls einen Kammereinbruch.

Bemerkenswert ist der Deckenbruchkohle-Komplex (a), der herabstürzte, ohne im Verband zu zerbrechen.

Die nach rechts einfallende Schichtung ist in diesem Falle weniger deutlich ausgeprägt als im vorangegangenen Beispiel.

Die Kohlebereiche (b) im mittleren Bildteil sind noch relativ unzerbrochen eingerutscht, was aus dem flachen Einfallen der Schichtung zu erklären ist.

Die Klüftung rechts im anstehenden Hauptflöz läßt eine Verstellung der Trennflächen zum ehemaligen Bergbauhohlraum hin erkennen, was wahrscheinlich auf Überlastung der Ulmen zurückzuführen sein dürfte. In anderer Deutung kann über der Grenzlinie (c) ein Resthohlraum bestanden haben, in den der Randbereich der Kohle unter dem Druck der Deckschichten ausgewichen ist.

Der nachsinkende Tonpfropfen (d) schmiegt sich mit flacher Grenzfläche dem früher sedimentierten Material an, was u. U. wiederum für einen Resthohlraum spricht.

Erstaunlich ist erneut der aus der Aufnahme ersichtliche hohe Sandanteil der Verfüllung, obwohl der hangende Sand nur maximal 60 cm stark war.



Abb. 8

Streichender Verlauf einer Streckengrenze.
Im Vordergrund rd. 2 m lange Strebhölzer.

Die dunkle Wand im Hintergrund der Abb. 8 stellt die seitliche Begrenzung einer Abbaustrecke dar. Davor sind Einbruchsmassen in Form von Kohle-Sand-Wechselschichtung zu erkennen. Die Schrägschichtung ist völlig unregelmäßig. Die Nachbrüche müssen also im Einzelnen voneinander unabhängig erfolgt sein. Die Einbruchsfolge erscheint willkürlich, könnte möglicherweise mit dem rückschreitenden Ausrauben des Strebverbaus zusammenhängen.

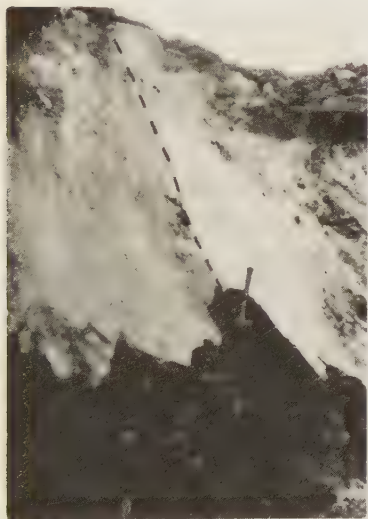


Abb. 9
Räumliche Trennung von
Nachbruchsbewegungen.

Die Abb. 9 zeigt einen Detailbereich aus Abb. 8. Der Sand über dem Kohlegrus besitzt hier noch durch den Tagebau nicht veränderte Scherflächen, deren Neigungen den Böschungswinkeln ($35-40^{\circ}$) der Einrutschbewegung in die alte Strecke entsprechen. Die gestrichelte Linie hebt die Verschneidungslinie zweier solcher Flächen hervor. Ein Vertikalschnitt durch das Material zeigt, daß der Sand wahrscheinlich in dünnen Lagen eingerieselt ist.



Abb. 10

Gesamtansicht eines Kammereinbruches.

Die Abb. 10 zeigt einen größeren Ausschnitt solcher früher beschriebenen Hohlraumverfüllungen. Die Sohlfläche des Abbaus ist nicht mehr zu sehen.

Zuunterst liegt wieder ungeordnete Bruchkohle; darüber eine Kohle-Sand-Wechselschichtung und schließlich kompakter Ton, der hier ungefähr die Hälfte der Einbruchshöhe einnimmt.

Auf der linken Bildseite waren im Ton deutliche Harnischflächen zu erkennen.

Aus diesem Aufschluß wurden die ungestörten Tonproben für die bodenmechanische Versuchsserie 1.4 - 1.11 entnommen.

6.2 Tonige Bruchkörper.

Die Abb. 11 zeigt an einem Ton-Pfropfen mit randlicher stufenartiger Gliederung und deutlichen Scherflächen, wie dieser in den Hohlraum eindringt. Die treppenartigen Absätze sind während des Bewegungsvorganges aufgrund der größeren Reibungskräfte im Grenzbereich zur Kohle entstanden. Diese waren größer als die Scherfestigkeit des Tones. Der eindruckende Pfropfen füllt den zur Verfügung stehenden freien Raum also nicht durch plastisch-fließende Bewegungen aus, sondern schert an zahlreichen Flächen zum Liegenden ab. Neben einzelnen großen Harnischflächen existiert noch eine große Anzahl von Kleinscherflächen im Ton.



Abb. 11
Harnischflächen in toni-
gem Einbruchsmaterial.
Bildausschnittsbreite:
ca. 1 m.

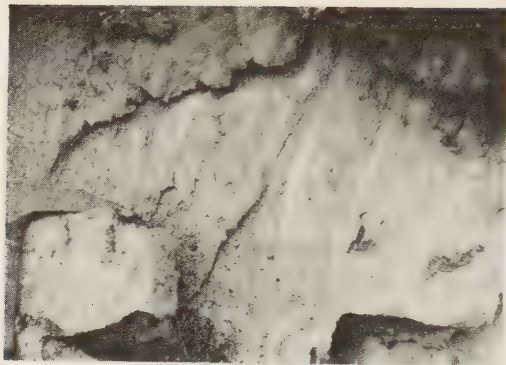


Abb. 12

Detail-Aufnahme eines durch Scherbeanspruchung gestörten Tones.

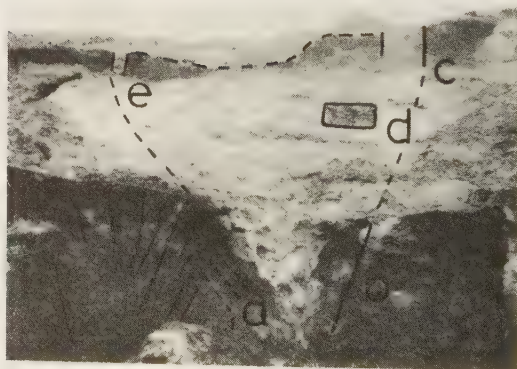


Abb. 13

Überprägung der Bruchvorgänge ins Hangende.

Bildausschnittsbreite: ca. 15 m.

Der auf den ersten Blick in den Abbauwänden des Tagebaus meistens ungestört-homogen erscheinende Ton zeigt bei geeigneten Aufschlußverhältnissen eine intensive Scherbeanspruchung mit zahlreichen, engstehenden zueinander parallelen Gleitflächen, an denen wahrscheinlich nur geringe Bewegung stattgefunden hat. Die auf Abb. 14 erkennbaren, helleren Partien sind Sand, der offensichtlich in leicht geöffnete Scherfugen eingeschmiert wurde. Dies gilt auch für den geringen Gruskohle-Anteil.

Die Folgerungen aus dieser Art der Bewegung und Materialdurchmischung werden im bodenmechanischen Teil der Arbeit erläutert (S. 83).

In welcher Form eine Überprägung der Einbruchsvorgänge im Niveau des Hauptflözes zur Erdoberfläche stattfindet, zeigt Abb. 13. Im Einbruch ist die Deckenbruchkohle der hangenden Flözteile nicht mehr aufgeschlossen. Der nächsten auf dem Bild erkennbaren Materialbewegung entspricht das schräge Einrutschen eines Kohlegrus-Sand-Gemisches von der linken Bruchkante der Strecke her; ein Vorgang, der durch das nach rechts gerichtete Einfallen des Hauptflözes begünstigt bzw. bestimmt wurde (a).

Am rechten Stoß (b) ist eine größere Kohle-Scholle wahrscheinlich an einer Kluftfläche nachgebrochen.

In der nächsten Phase ist der hangende Ton eingesackt. Die grabenartigen Einbrüche im Oberflöz (c und e) zeigen, daß dabei ein keil- bzw. kegelförmiger Tonkörper mit steilen, bis zur Erdoberfläche reichenden Bruchflächen entsteht. Die Oberflöz-Scholle (d) wurde während dieses Vorganges um ungefähr 3 m ins Liegende abgesenkt. Die Überprägungsreichweite der Bewegung ins Hangende wird wiederum durch das Schichteinfallen des Hauptflözes bestimmt. Eine deutliche Asymmetrie ist im Schnitt zu erkennen. Die rechte

Begrenzung des Tonkörpers ist verhältnismäßig steil, während die linke flacher ausgezogen ist. Auch die Einbeulung des Tones, die darauf hinweist, daß zentrale Bereiche in der Bewegung voreilen, liegt nicht symmetrisch über der Mitte der Strecke, sondern ist nach links verschoben. Die Auffächerung der Klüftung im Kohlestoß (linke Bildhälfte) dürfte auf Entlastungsbrüche unmittelbar während oder nach Auskohlung der Abbaustrecke zurückzuführen sein. Auch dieser auf den linken Kohlestoß begrenzte Vorgang hängt mit der Flözneigung zusammen.

6.3 Schlote

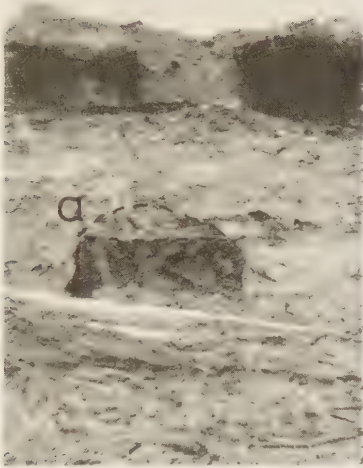


Abb. 14
Bruchscholle aus dem
Oberflöz (Breite: 1.8 m)

Die Abb. 14 zeigt den Ausschnitt mit der kleinen Bruchscholle aus dem Oberflöz der rechten Bildhälfte von Abb. 13. Der Bereich a enthält Gerölle in leicht lehmigem Sand, welche die Kohle auch in Originalposition überdecken. Die 1.8 m breite Scholle ist ohne wesentliche Verstellung und Störung etwa 3 m abgesenkt worden.

Die Gerölle, die das Oberflöz in leicht lehmiger, aber vorwiegend sandiger Matrix in diesem Tagebau-Bereich überlagern, sind meistens abgeplattet. Deshalb konnte die Einregelung ihrer Flächen in der Einbruchsfüllung im Oberflöz eingemessen werden.

Der Mittelwert der Streichrichtung (48E), konstruiert aus den Flächenpolen aller Gerölle, zeigt, daß diese Orientierung mit dem Streichen der Einbruchsränder (50E) fast identisch ist (Abb. 15).

Der Bruchvorgang kann also nicht in Form eines plötzlichen

Einsturzes stattgefunden haben, sondern bedeutete vielmehr ein verhältnismäßig langsames Einsinken, bei dem die Gerölle Zeit zur Einregelung fanden.

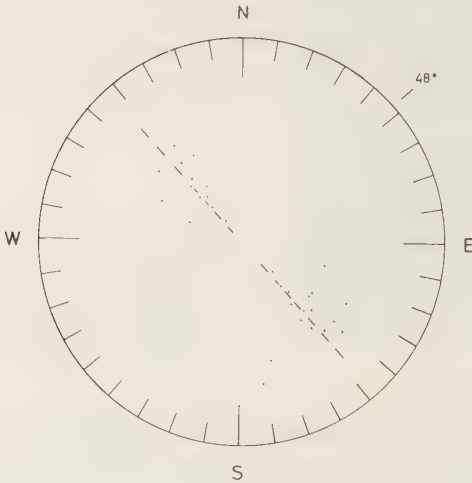


Abb. 15

Flächenpole der Geröll-Orientierung
eines Einbruches im Oberflöz.

Ein weiteres Beispiel eng begrenzter, örtlicher Einsackung (Schlot-Bildung) ist auf Abb. 16 dargestellt. In der Sohlfläche des ausgebeuteten Oberflözes liegt ein kreisförmiger Einbruch mit 2 m Durchmesser, dessen sandige Füllung vom umgebenden Ton scharf abgegrenzt ist.

Eine Sondierbohrung (22 mm-Gestänge mit 50 cm langer Nut) im Zentrum erbrachte das nachfolgende Profil:

cm

- I 100 Feinsand: gelbbraun; locker.
- II 50 Feinsand und Feinkies: Gerölldurchmesser: 0.5-1.0 cm; locker.
- III 60 Feinsand: gelbbraun; locker.
- IV 40 Ton: dunkelbraun; tonig-humose und sandige Feinschichtung; steif.
- V 80 Kohle: leicht sandig vermischt.
- VI 20 Feinsand: gelbbraun; leicht tonig; locker.
- VII 80 Kohle: leicht sandig vermischt.
- VIII 70 Ton: braun; durchmischt mit Feinsand; obere Lagen breiig-weich sonst steif.
- IX 10 Ton: braun; vermischt mit Kohlegrus; steif.
- X Ton: olivgrün; steif.

Vergleicht man das Profil der Schlagbohrung im Einbruch mit der Schichtabfolge der Abbaurampe so kann der charakteristische feingebänderte Ton über dem Oberflöz in der Bohrung wiedergefunden werden. Daraus ist eine relative Vertikalbewegung der Einbruchsfüllung von 4.2 m abzuleiten. Auch die Mächtigkeit der darunter liegenden Kohle (1.7 m) stimmt mit der des Einbruchs noch gut überein (1.8 m). Da jedoch Gerölle aus der oberflächennahen lehmig-sandigen Deckschicht im Sand des Einbruchs unmittelbar über der Flöz-Scholle gefunden wurden, müssen die hangenden Feinsande ohne Einkerkerung ihrer vertikalen Abfolge eingerieselt sein ("Eieruhreffekt").

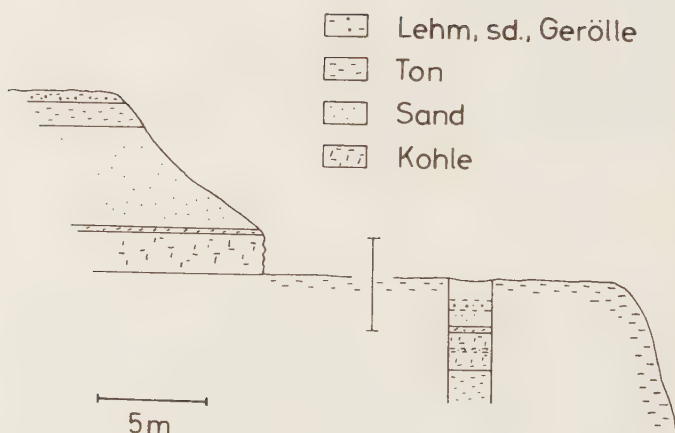


Abb. 16

Vertikalschnitt durch eine Abbaurampe des Tagebaus in Höhe des Oberflözes.

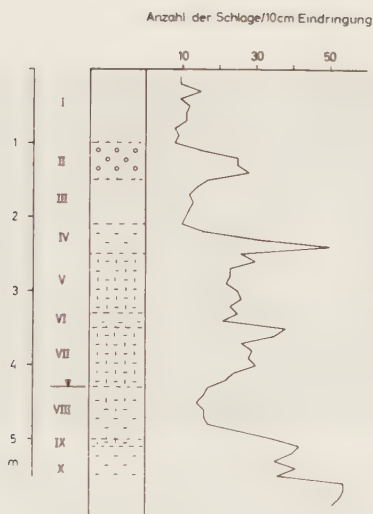


Abb. 17

Parallelisierung von Schlagsondierung
und durchteuftem Profil einer Einbruchs-
füllung.

Nach dem Ergebnis einer Sondierung mit der leichten Rammsonde nach DIN 4094 haben die Feinsande im Einbruch mit rd. 10 Schlägen/ 10 cm Eindringung eine lockere-mitteldichte Lagerung (Abb. 17).



Abb. 18

Schräge, schlotartige Durchschläge
im Oberflöz.

An anderer Stelle waren im Oberflöz kleinere Einbruchsformen aufgeschlossen (Abb. 18). Es handelt sich um schräg nach oben verlaufende Schlote mit den Abmessungen von rd. 30 x 50 und 60 x 80 cm, die mit Sandmaterial der Hangendschichten ausgefüllt waren. Diese schlauchartigen Durchbrüche, über die Sand der Hangendschichten in tiefere Hohlräume eingerieselt sein kann, gehören zur Randzone eines größeren Einbruches. Ihre Neigung wird durch das Schichteinfallen und damit zusammenhängend durch die Lage der Begrenzungsflächen des Bruchkörpers bestimmt.

6.4 Strukturen sekundärer Bewegung

Die Abb. 19 läßt Nachbewegungen in schon sedimentiertem Material aus der Nähe erkennen. Die unregelmäßig verbogene, helle Tonlage, der Abschluß eines größeren Tonpaketes in einem Einbruch, zeigt flexurartige Verbiegungen. Von diesen Flexuren gehen Harnischflächen ins Liegende, an denen Kohlegrus von oben her eingeschmiert worden ist. Über dem Ton lagert Gruskohle, die wahrscheinlich randlich vom Kohlestoß abgebrochen ist, bevor die Hauptmasse aus den tonigen Hangendschichten nachdrückte. Durch eine solche Belastung können Nachbewegungen im erst lockeren Liegendmaterial ausgelöst worden sein.

Zumindestens kurzfristig muß unter diesen Umständen ein freier Raum während des Verfüllungsvorganges der Kammer bestanden haben.



Abb. 19

Nachbewegungen in der Füllmasse eines
Kammereinbruches.

Bildausschnittsbreite: ca. 1.8 m

Die Abb. 20 zeigt eine Aufsicht auf eine Einbruchsform, die bei den Planierarbeiten in Höhe der Oberkante des Hauptflözes freigelegt worden ist. Sie läßt den randlichen Teil eines runden Einbruches erkennen, der einen Durchmesser von 2.5 m hat. Das Zentrum wird von Ton aus dem Hangenden ausgefüllt, der von Gruskohle umgeben ist. Das helle, 1-3 cm dicke Band, das umlaufend der Einsenkung folgt, stellt eine andersfarbige Tonlage dar. Diese Aufsicht zeigt wahrscheinlich eine flexurartige Nachbewegung, wie sie schon mit Abb. 19 angeführt worden ist.

Der ursprünglich horizontal über der Gruskohle lagernde Ton ist pfropfenartig lokal nachgesackt.

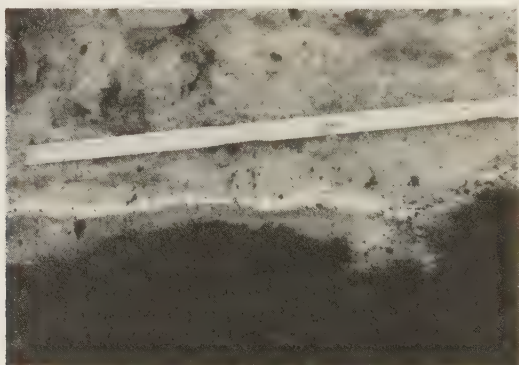


Abb. 20

Randbereich eines nachgesackten
Ton-Pfropfens.

7.0 LUFTBILD-ANALYSEN VOM TAGEBAU-BEREICH.

Mit Hilfe einer Luftbild-Auswertung konnte anhand der ehemaligen Morphologie des Bergbaufeldes Mittelthal untersucht werden, in welcher Form die im vorangegangenen Kapitel im Schnitt beschriebenen Einbruchsstrukturen sich bis zur Erdoberfläche durchpausen.

Als photographische Unterlagen standen zwei um sechs Jahre auseinanderliegende Überfliegungen zur Verfügung, von denen die ältere auf den 10. 8. 1953 und die jüngere auf den 12. 5. 1959 datiert war.

Von der Befliegung 1953 liegt nur die Angabe des Bildmaßstabes 1 : 21 700 vor, während von der Befliegung 1959 die Flughöhe 1 150 m ü. NN, die Aufnahmezeit 9⁰⁰ und der Bildmaßstab 1 : 12 000 angegeben sind.

Auf den ersten Blick erscheint die Tatsache widersinnig, daß trotz Auffüllungsarbeiten im Tagebau-Bereich im Frühjahr 1958 Strukturen im gesamten Untersuchungsgebiet beobachtet werden konnten. Auf den Luftbildern des Jahres 1959 erscheinen solche Auffüllungen als helle, unregelmäßig verteilte Flächen, da hier innerhalb der kurzen Zeit noch keine Vegetationsdecke entstanden war.

Das vorgenannte Phänomen findet seine Erklärung wahrscheinlich dadurch, daß die lockeren, sandig-lehmigen Schüttungen (keine Arbeiten mit Planierdrape) sich im Laufe eines Jahres setzten, wodurch die alten Formen nachgezeichnet wurden. Die Bereiche, die einer Auffüllung unterlagen, sind in den Darstellungen b und c der Abb. 22 durch eine dickere Umrandung hervorgehoben.

Vor einer Erörterung der beobachteten Merkmale muß allerdings darauf verwiesen werden, daß ein wünschenswerter Detailvergleich der aus beiden Überfliegungen analysierten Strukturen nicht möglich ist, da der Abbildungsgröße 1 : 21 700 der Überfliegung 1953 hinsichtlich des Auflösungs-

vermögens Grenzen gesetzt sind, d. h. die im Gegensatz zur jüngeren Aufnahme großzügigere Darstellung der Strukturen (Skizze a, Abb. 22) bietet nur den Teil der morphologischen Gegebenheiten, der zweifelsfrei erkannt werden konnte. Die Kleinformen wurden in der Regel, da nur verschwommen sichtbar, weggelassen.

Die Wertung der Ergebnisse stützt sich daher weitgehendst auf die Analyse der Überfliegung 1959.

In der Abb. 22 bedeuten die dicken, vorwiegend geradlinig durchgezogenen Linien stark hervortretende Geländebruchkanten, die geradlinige Strichelung den durchgepausten Verlauf alter Strecken. Runde bis oval ausgelängerte, gestrichelt umrandete Formen stellen lokale Depressionen dar; in der Regel trichterförmige Einsenkungen.

Die Skizze b mit der Darstellung der Oberflächenmorphologie des weiteren Tagebau-Bereiches im Mai 1959 soll dem folgenden Vergleich der Strukturen untereinander zugrunde gelegt werden.

Auf einer Fläche von etwas über 10 000 m² konnten 159 runde, teilweise auch oval ausgezogene Geländedepressionen gezählt werden. Aus dieser Gesamtzahl weisen 71 Formen einen Durchmesser von 5 bis 10 m auf. 68 haben einen Durchmesser zwischen 10 und 20 m. Einsenkungen mit Durchmessern zwischen 20 und 50 m konnten zwanzigmal gefunden werden.

Größere Formen mit umlaufenden Bruchrändern wurden nicht erkannt. Diese Durchmesser erscheinen im Vergleich mit den Anfangsdurchmessern bekannter Tagesbrüche (Erdfälle) verhältnismäßig groß, was auf die gute Standfestigkeit der Kohle und u. U. auch auf ein Abschrägen der Einbruchsränder zurückzuführen sein kann. Daß zumindestens Tagesbrüche mit 10 m Durchmesser aufgetreten sind, zeigt Abb. 13.

Häufig sind konzentrische Bruchränder vorhanden, die darauf hindeuten, daß die im Hauptflöz-Niveau ausgelösten Bewegungsvorgänge mehrphasig waren. Wahrscheinlich beginnen



Abb. 21

Lageplan des Tagebau Mittelthal

diese mit einer großflächigeren Einsenkung der bis 20 m mächtigen, tonigen Kohle-Deckschichten. In einer jüngeren Phase brechen schließlich zentrale Bereiche an relativ steil stehenden Bruchflächen ein.

Daneben sind mehr oder weniger runde Strukturen zu erkennen, die ineinander greifen. Sie müssen ebenfalls Bewegungsvorgängen angehören, die zeitlich nacheinander aufgetreten sind.

Die Skizze a, welche die oberflächlichen Strukturen im August 1953 wiedergibt, kann zwar nicht zum Detailvergleich mit Formen aus dem Jahr 1959 herangezogen werden, zeigt jedoch zweifelsfrei, daß die Gesamtzahl an Tagesbrüchen noch um Einiges niedriger lag. In dem angegebenen Zeitraum müssen also noch Bewegungen stattgefunden haben, obwohl die bergbauliche Tätigkeit in diesem Gebiet schon 1923 eingestellt worden ist (S. 11).

Die Abb. 21 zeigt einen Lageplan des Bergbaubereiches Mittelthal im Maßstab 1 : 1 000 vom März 1970 mit Nachträgen bis Juni desselben Jahres. Die schraffierten Felder mit strichpunktierter Umrahmung bilden den Kern der Untertagefelder der Abbaujahre 1921 - 23. Nach der Vielzahl von Strecken dieser Arbeitsphase muß allerdings angenommen werden, daß der Bergbau großräumiger umging. Indizien hierfür bilden die Streckenverläufe nach dem Lageplan, die hauptsächlich den Richtungen 25 - 30 W und 55 - 60 E folgen. Die aus den beiden Luftbild-Analysen ersichtlichen, geradlinigen Geländekanten lassen vorwiegend dieses Streichen wiedererkennen, auch im Tagebaubereich, und sind somit als durchgepauste Streckenverläufe ein oberflächliches Abbild des Abbausystemes untertage.

In manchen Fällen münden "Strecken" in die oben beschriebenen runden Strukturen ein, in anderen Fällen liegen sol-

che Streckenabschnitte in Einsenkungen, oder sie durchschneiden diese. Ob sich längere Streckenabschnitte zur Erdoberfläche durchgeprägt haben oder größere Senkungstrichter entstanden, hängt möglicherweise damit zusammen, inwieweit im Untergrund ein lokaler, kammerartiger Abbau oder eine systematische Verbreiterung bestehender Stollen betrieben wurde (S. 85).

Auf den Luftbildern der Überfliegung Mai 1959 waren die hellen Flächen mit Auffüllungsmaterial aus dem Frühjahr 1958 zu erkennen. In diesen Bereichen hatten die Arbeiten zwar zu einer gewissen "Verflachung des Reliefs" geführt, doch die oben beschriebenen Strukturen blieben erkenntlich. Hier treten aber einzelne Formen mit deutlich schärferen Konturen hervor. Es muß angenommen werden, daß diese Bewegungsvorgängen angehören, die entweder zwischen 1958 und 1959 neu hinzukamen oder in dem angegebenen Zeitraum noch nicht abgeschlossen waren (Skizze c, Abb. 21).



a

Überfliegungsjaar 1953



b

Überfliegungsjaar 1959

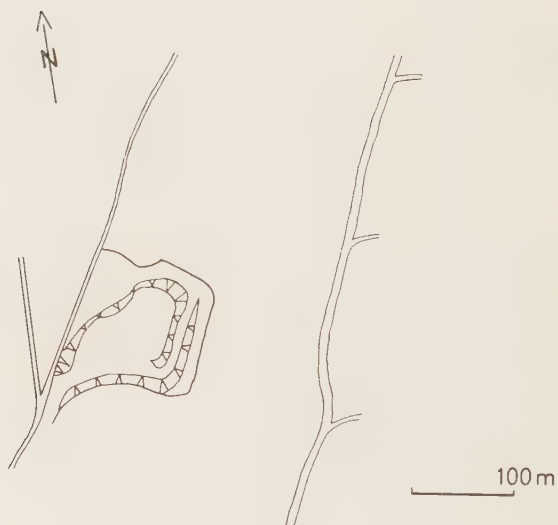


c

Isolierte Darstellung junger
Bewegungen aus 1959.

Abb. 22

Morphologie der Oberfläche eines Teilbe-
reiches des Bergsenkungsfeldes Mittelthal.



- Senkungstrichter
- - - Streckenverlauf
- / Bruchkante
- ⊖ Auffüllung

d

Lage des Tagebau Mittelthal

8.0 BODENMECHANISCHE UNTERSUCHUNGEN AN TONEN DES TAGEBAUS

8.1 Voraussetzungen.

Ungestörte Bodenproben wurden verschiedenen Bereichen der tonigen Deckschichten des Hauptflözes entnommen, die teilweise wie früher beschrieben in bergbauliche Hohlräume eingebrochen waren.

Mit Hilfe von bodenmechanischen Daten sollte untersucht werden, ob innerhalb eines eingesunkenen Ton-Komplexes ein unterschiedlicher Beanspruchungsgrad erkennbar ist. Dabei sollte ein Schwergewicht auf die Aussagen der Scherparameter gelegt werden.

Zu diesem Zwecke wurden zwei Kammereinbrüche im Hauptflöz-Niveau ausgewählt, die mit Zonen verglichen wurden, die vertikal jeweils ungefähr 7 m über der ursprünglichen Oberkante der Kohle lagen (Abb. 23 und 24).

Ein Übergewicht der Probenanzahl aus den Einbrüchen wurde absichtlich vorgenommen, da zu vermuten war, daß in ihnen eine größere Streuung der späteren Ergebnisse auftreten würde.

22 Entnahme-Stutzen, Hohlzylinder aus Stahl nach DIN 4021 wurden nach Schaffung einer horizontalen Plattform auf den Ton angesetzt und nach Abdeckung mit einer Eisenplatte vorsichtig mit einem Hammer in den Boden eingepreßt.

An dem gewonnenen ungestörten Material wurden Wassergehalte, Konsistenzgrenzen, Raumbewichte, Korngrößenverteilung und Scherparameter bestimmt.

Zur Durchführung der Scherversuche wurde das am Geotechnischen Institut in Oslo entwickelte Triaxial-Gerät verwendet, bei dem die achsiale Belastung einer zylindrischen Bodenprobe, die in einer Zelle unter allseitigem Druck steht, über konstante Verschiebung eines Hebetisches erzeugt wird (Abb. 25). Zur Ermittlung der effektiven Spannungen ist ein Porenwasserdruck-Meßsystem anschließbar.

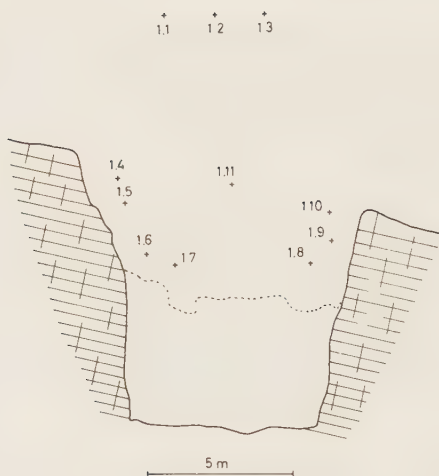


Abb. 23

Entnahmepositionen ungestörter Ton-
Proben für die erste Versuchsserie.
Gestrichelte Linie: Unterkante des Ton-
pfropfens.

21⁺ 22⁺ 23⁺

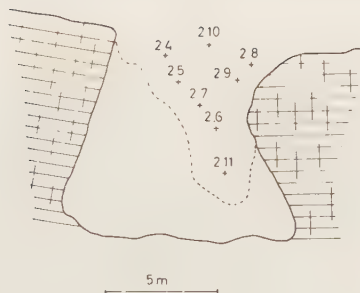


Abb. 24

Entnahmepositionen ungestörter Ton-
Proben für die zweite Versuchsserie.
Gestrichelte Linie: Unterkante des Ton-
pfropfens.

Eine Zusatzausstattung - eine Kopplung von Meßgebern für achsiale Belastung, Weglänge des Hebetisches und Porenwasserdruck über eine Zeituhr an einen Schreiber - ermöglicht eine automatische Registrierung der Versuchswerte. Die Ausgabezeiten der Uhr sind für gewünschte Abstände einstellbar.

Ein beweglicher Hebelarm, auf einen Kontaktschalter wirkend sorgt für eine Endabschaltung der Apparatur nach 8 mm Weglänge des Tisches.

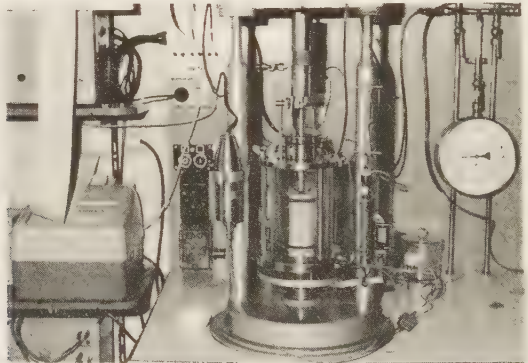


Abb. 25

Triaxial-Gerät mit eingebauter Bodenprobe

Zur Durchführung der Scherversuche fanden zwei verschiedene Methoden Verwendung:

1. konsolidierter, nicht entwässerter Druck-Versuch.
(CU-Test)

Den Versuchsbedingungen entsprechend erfolgt die Zunahme der aufgebrauchten Spannungen schnell. Die Probe wird während des Abscherens nicht drainiert.

2. einaxialer Druck-Versuch.

(Zylinderdruck-Versuch)

Hierbei bestimmt der Anteil der nicht entwässerten Scherfestigkeit $C_u = q_u / 2$ (1/2 Zylinderdruckfestigkeit) die Anfangsfestigkeit des Bodens.

Der Vergleich der ermittelten Scherparameter erfolgte über eine Auftragung im MOHR'schen Spannungsdiagramm, eine graphische Darstellung des COULOMB-HVORSLEV'schen Bruchkriteriums

$$\tau = c' + \sigma' \cdot \tan \varphi'$$

c' = wirksame Kohäsion

σ' = wirksame Normalspannung

φ' = wirksamer Winkel der inneren Reibung

τ = Scherspannung

Beim Vorbereiten der Probenzylinder auf die vorgeschriebenen Abmessungen (Durchmesser: 3.57 cm; Höhe: 8.0 cm) wurden Proben mit Kohlestückchen aussortiert, um Störungen im Versuchsablauf möglichst auszuschalten.

Die Konsolidationsphase wurde dann als abgeschlossen betrachtet, wenn mindestens fünf Stunden keine Pegelveränderung in der mit der Probe verbundenen Bürette mehr festzustellen war. Eine Anzahl von ihnen wurde generell 48 Stunden konsolidiert (S. 61).

Die Zeiteinstellung der automatischen Ausgabe von Versuchsdaten betrug für den Zylinderdruck-Versuch 5 min., für den CU-Test mit 0.1 % Stauchung/min. = 10 min., für den CU-Test mit 0.02 % Stauchung/min. = 30 min.

In der Regel wurde im CU-Test die höhere Abschergeschwindigkeit verwendet. Eine Versuchsserie wurde jedoch unter speziellen Gesichtspunkten mit der niedrigeren Abscherge-

schwindigkeit "gefahren" (S. 73).

Die Zahlenwerte der einzelnen bodenmechanischen Parameter sind für alle untersuchten Proben in Tab. 1 zusammengestellt. Sie sollen im weiteren Verlauf der Arbeit isoliert oder gruppenweise geeignet kombiniert auf Aussagemöglichkeit überprüft werden.

Nr.	W _n (%)	W _a (%)	W _f (%)	W _{fa} (%)	S _w (%)	Ton Anteil (%)	c' (kg/cm ²)	ξ' (°)	q _u (kg/cm ²)
1.1	27.3	16.2	84.2	68.0	100	92.5	0.18	21.0	0.54
1.2	26.0	15.8	90.3	74.5	99	93.0	0.20	19.5	0.78
1.3	25.0	17.5	75.5	58.0	100	89.0	0.18	22.5	0.86
1.4	16.2	19.2	70.4	54.2	55	78.5	0.34	10.0	1.56
1.5	11.0	17.2	54.2	37.0	53	55.0	0.76	7.0	1.92
1.6	12.2	16.9	60.9	44.0	47	64.5	0.72	5.5	1.84
1.7	15.3	18.1	68.3	50.2	57	68.0	0.64	6.5	1.72
1.8	13.1	15.9	92.9	77.0	48	86.0	0.17	16.0	1.62
1.9	20.2	20.1	72.8	52.7	64	64.0	0.25	14.5	1.44
1.10	19.2	18.7	59.3	40.6	76	57.5	0.16	16.5	1.06
1.11	23.3	17.6	72.6	55.0	96	86.0	0.15	17.5	1.26
2.1	27.2	16.1	75.8	59.7	97	81.5	0.19	18.5	0.56
2.2	21.9	17.3	79.1	61.8	100	89.0	0.28	21.5	1.10
2.3	25.7	17.9	78.1	60.2	99	87.0	0.22	23.0	0.74
2.4	20.9	17.6	70.5	52.9	80	72.0	0.32	11.0	1.24
2.5	21.2	18.1	61.2	43.1	82	73.0	0.34	10.5	1.20
2.6	23.7	18.0	56.4	38.4	78	49.5	0.24	11.5	1.02
2.7	20.9	17.6	69.2	51.6	82	76.5	0.12	13.0	0.84
2.8	17.4	16.4	61.7	45.3	78	63.5	0.17	12.0	1.00
2.9	20.1	16.9	61.8	44.9	75	60.5	0.38	9.0	1.22
2.10	19.7	16.1	83.9	67.8	83	87.5	0.28	18.0	1.44
2.11	16.4	18.2	52.9	34.7	59	48.0	0.49	14.0	1.66

Tab.

Bodenmechanische Daten aller Ton-Proben.

8.2 Kolloidale Aktivität.

Einleitend soll auf qualitative Eigenschaften des untersuchten Tones verwiesen werden. Die kolloidale Aktivität stellt hierzu einen wichtigen Parameter dar. Sie soll im Folgenden kurz erläutert werden.

Der Plastizitätsbereich eines Tones wird von seinen kolloidalen Eigenschaften, d. h. vom Verhalten der Gitterstrukturen der Ton-Mineralen in Bezug auf die Fähigkeit zur Wasseraufnahme bestimmt.

Als indirekten Ausdruck für diese mineralogische Abhängigkeit führte SKEMPTON (1950) in revidierter Form den Begriff der "kolloidalen Aktivität" in die Literatur ein:

$$\text{Aktivität} = \frac{\text{Plastizitätszahl (wfa)}}{\text{Ton-Fraktion-Anteil}}$$

Es zeigt sich, daß nach Auftragung der Werte im Koordinatensystem mit den genannten Parametern eine Mittelwertgerade zu ermitteln ist, deren Ausgang im Ursprung anzusetzen ist und deren Steigung den Zahlenwert für die Aktivität des untersuchten Materials wiedergibt.

Nach Vergleich mit monomineralischen Ton-Fractionen wurde eine dreigeteilte Klassifikation aufgestellt:

nicht aktive Tone	unter 0.75
normal aktive Tone	0,75 - 1.25
aktive Tone	über 1.25

monomineralisch:

Quarz	0.00
Kaolinit	0.46
Illit	0.90
Na - Montmorillonit	7.20

Darüber hinaus kann in beschränktem Umfange, da inzwischen eine Anzahl von Untersuchungen zur Verfügung steht (SKEMPTON, 1953; Tab. 2), mit Hilfe der Aktivität statisch auf die geologischen Entstehungsbedingungen eines Tones rückgeschlossen werden.

Methodisch sollten eigene Untersuchungen an Tonen des Tagebau-Bereiches über die bodenmechanische Arbeitsweise die pauschale mineralogische Zusammensetzung ermitteln, wobei zur Kontrolle des Verfahrens und der erzielten Ergebnisse eine röntgenologische Analyse durchgeführt wurde.

Bei den vier "gefahrenen" Präparaten wurde auf eine Trennung in einzelne Fraktionen und auf eine HCl - Behandlung verzichtet, da in Hinblick auf die grobe Klassifizierung eine ausreichende röntgenographische Aussagegenauigkeit erwartet werden konnte.

Alle vier Proben, von denen jeweils zwei 1.5 m und 7 m über der Hauptflöz-Oberkante entnommen worden waren, zeigten ohne stratigraphisch gebundene Unterscheidungsmöglichkeit das Vorherrschen von Mineralen der Kaolinit-Reihe mit schlecht geordneter Gitterstruktur gegenüber solchen der Illit-Reihe. Der mixed clay - Anteil, darin möglicherweise Minerale des Montmorillonit - Typus, war von geringer Bedeutung.

Chlorit und Mikroklin erschienen in zwei der vier Präparate.

Angaben über prozentuale Anteile waren mit dieser groben Methode nicht zu machen.

Der in Abb. 26 dargestellte Zahlenwert der Aktivität = 0.71 wurde durch Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse sämtlicher Ton-Proben gewonnen.

Er bezeichnet somit ein Material im oberen Bereich der nicht aktiven Klasse, das per Definition überwiegend Kaolinit enthalten soll und sich nur durch geringfügigen

Gehalt an echten Ton-Mineralen auszeichnet (quellfähige Komponenten).

Die Aktivitätsgruppe 0.50 - 0.75 soll charakteristisch für Tone sein, deren Ausgangsprodukte einer normalen Verwitterung unterlagen und die unter Süßwasserbedingungen abgelagert wurden (SKEMPTON, 1953).

Hinsichtlich der mineralogischen Aussagemöglichkeit konnte die angewandte Methode im speziellen Fall unter Beweis gestellt werden.

Für die Angaben über den Sedimentationsraum sind gewisse Einschränkungen angebracht, da die miozänen Tone marinem Einfluß zumindestens teilweise ausgesetzt waren (brackische Beckenrand-Fazies; BAATZ, 1960).

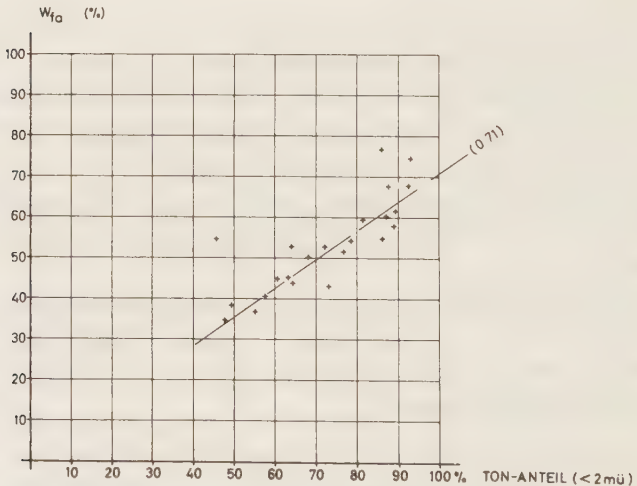


Abb. 26

Kolloidale Aktivität für den untersuchten Ton-Komplex.

8.3 Natürlicher Wassergehalt (W_n), Sättigungsgrad (S_w) und Korngrößenverteilung.

Nach den bodenmechanischen Daten (Tab. 1) streut der Tongehalt und damit auch die Plastizität innerhalb des untersuchten Ton-Komplexes erheblich.

Deshalb sollen sich ergänzende Aussagen über die Zustandsform des Bodens nunmehr auf die jeweiligen Entnahmepositionen beziehen.

Die Angabe für den natürlichen Wassergehalt (W_n) einer Probe entspricht dem Mittelwert dreier Einzeluntersuchungen.

Der Sättigungsgrad (S_w) wurde nach der Formel

$$S_w = \frac{W_n \cdot Y_s}{\epsilon} \quad \text{bestimmt.}$$

ϵ = Porenziffer

Y_s = spezifisches Gewicht

Dazu hätte theoretisch das spezifische Gewicht jeder Probe vorliegen müssen. Nach sechs Untersuchungen mit der Pyknometer-Methode wurde der Wert 2.70 g/cm^3 als Grundlage der Berechnungen angesetzt.

Wegen dieser Mittelung erscheinen in der Übersichtstabelle für den Sättigungsgrad keine Komma-Stellen.

Die Proben 1.1 - 1.3 und 2.1 - 2.3, aus höherem Niveau über den Bruchbereichen im Hauptflöz entnommen, weisen praktisch eine 100 %-ige Wassersättigung bei W_n - Werten zwischen 21.9 % und 27.3 % auf.

Auffällig sind die hohen Schwankungen dieser Parameter, die für den Ton aus den beiden Pfropfen ermittelt wurden.

Die Streubreite liegt bei $S_w = 47 \% - 96 \%$ und $W_n = 11.0 \% - 21.2 \%$ wie Tab. 1 zeigt.

Ergänzend sollen die Korngrößenverteilungen nach DIN 18123 (Aräometer-Methode) und die zugehörigen Entnahmepositionen überprüft werden.

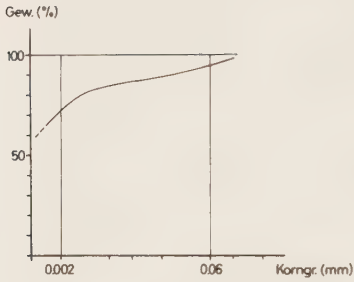
Beispiele von Kornverteilungskurven sind auf Abb. 27 und 28 dargestellt. Die Auftragung beschränkt sich auf den Fraktionsbereich "Ton" - "Feinsand", da eine größere Fraktion nicht vorhanden war. Weitere Beispiele werden in Zusammenhang mit den Scher-Diagrammen wiedergegeben (Anhang S. 96).

Proben über den unmittelbaren Bruchbereichen zeigen generell einen sehr großen Ton-Anteil (81.5 % - 93.0 %) bei einem minimalen Feinsand-Gehalt. Der Ton aus den Pfropfen hingegen weist Ton-Gehalte zwischen 48.0 % und 87.5 % auf, wobei allerdings die größere Anzahl der Proben Werte unter 70 % liefert.

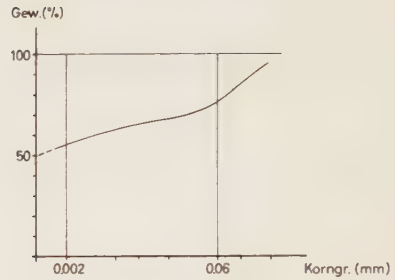
Primär läge die Vermutung nahe, daß die teilweise erheblich geringeren Gewichtsprozente an Ton für einzelne Positionen in den Einbruchsbereichen charakteristisch für einen tieferen stratigraphischen Horizont sind. Das Material der Pfropfen weist jedoch auch in vergleichbaren Niveaus größere Schwankungen in den Ton-Gehalten auf, ohne daß dies mit sandigen Linsen im Ton der Aufschlußwand erklärt werden kann (vgl. dazu Abb. 29).

Weiterhin verdeutlicht ein vergleichender Überblick der Abb. 31 und 32 das Verhältnis von Ton-Gehalt zu Sättigungsgrad für jede Entnahmeposition. Es zeigt sich, daß in den Pfropfen keine klare Beziehung zwischen erhöhtem Feinsand-Anteil im Ton und niedrigem Sättigungsgrad besteht. Die Zusammenstellung der Angaben in Abb. 29 läßt allerdings vermuten, daß ein verringerter Sättigungsgrad und Ton-Gehalt sich auf die randlichen Positionen des Pfropfens zu beschränken scheint.

Ohne hier schon auf die möglichen Schlußfolgerungen aus den vorgenannten Angaben einzugehen, kann darauf verwiesen werden, daß die hohe Streubreite der Daten in den Pfropfen, allein schon die Teilsättigung des Tones, untypisch für einen ungestörten Materialverband ist.



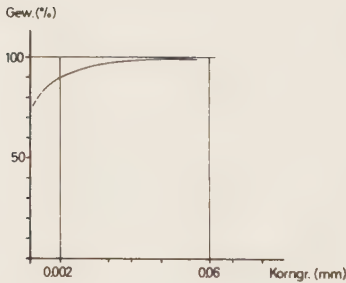
Probe 2.4



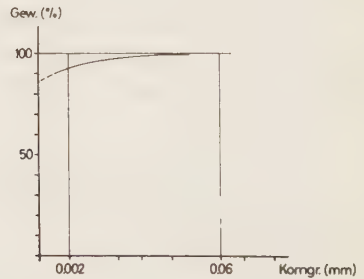
Probe 1.5

Abb. 27

Korngrößenverteilung für Ton-Proben aus den Einbruchsbereichen im Hauptflöz.



Probe 2.2



Probe 1.2

Abb. 28

Korngrößenverteilung für Ton-Proben über den Einbruchsbereichen im Hauptflöz.

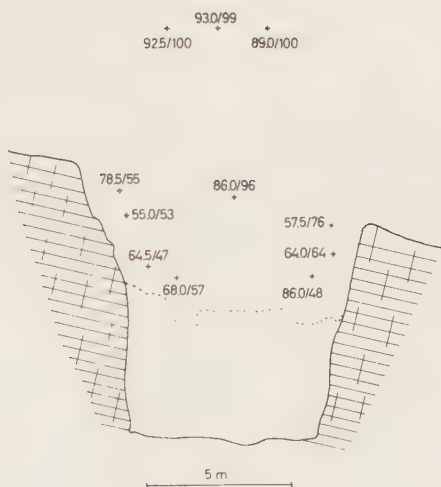


Abb. 29

Ton-Gehalt/Sättigungsgrad (78.5/55) in Abhängigkeit von der Entnahmeposition für die erste Versuchsserie.

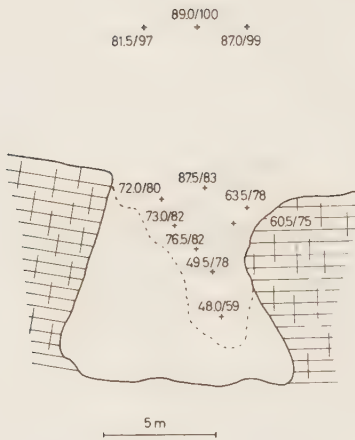


Abb. 30

Ton-Gehalt/Sättigungsgrad (72.0/80) in
Abhängigkeit von der Entnahmeposition
für die zweite Versuchsserie.

8.4 Zum Konsolidationsverhalten der Ton-Proben.

Während der Kompressionsphase des konsolidierten, nicht entwässerten Druckversuches wurden zu jedem Scherversuch drei Einzelproben mit den allseitigen Drücken $\sigma_1 = 1.0, 2.0$ und 3.0 kg/cm^2 belastet. Dabei wurde die Drainage, die Wasseraufnahme bzw. -abgabe, mit einer Meßbürette kontrolliert.

Bei wassergesättigten Proben konnte nach 6-8 Stunden die Konsolidation als abgeschlossen betrachtet werden. Teil-gesättigte Proben zeigten jedoch nur geringfügige Veränderungen des Pegelstandes der Bürette an; ihr Konsolidations-verhalten war schwer zu beurteilen. Deshalb wurde ihnen nach zwei Versuchsserien generell eine Konsolidationszeit von 48 Stunden vorgegeben.

Nr.	W_n	$W_{1.0}$	$W_{2.0}$	$W_{3.0}$	$W_{3.0}$ nach Δw
1.1	27.3	24.1	22.3	20.1	20.3
1.2	26.0	23.8	22.6	19.3	20.5
1.3	25.0	23.9	21.5	20.4	20.8
2.1	27.2	23.2	21.6	20.4	20.4
2.2	21.9	21.0	21.4	20.5	20.1
2.3	25.7	22.6	21.2	21.1	19.4

Tab. 2

Wassergehalt in Prozent in Abhängigkeit vom Konsolidationsdruck für gesättigte Proben.

W_n = nat. W.-Gehalt

$W_{1.0} - 3.0$ = Ausbauwassergehalt für $\sigma_1 = 1.0 - 3.0 \text{ kg/cm}^2$

$W_{3.0 \text{ nach } \Delta w}$ = W.-Gehalt bei $\sigma_1 = 3.0 \text{ kg/cm}^2$ nach der Pegelveränderung der Meßbürette.

Die Tab. 2 zeigt, daß sich bei den wassergesättigten Ton-Proben eine klare Proportionalität zwischen Wassergehalt und herrschendem Konsolidationsdruck einstellt. Die Angaben der letzten Spalte verdeutlichen wie genau über die Pegelschwankung der Meßbürette (nach sorgfältiger Entlüftung!) ein zu der Ermittlung nach dem Trockengewicht der Proben korrespondierender Wassergehalt bestimmt werden kann.

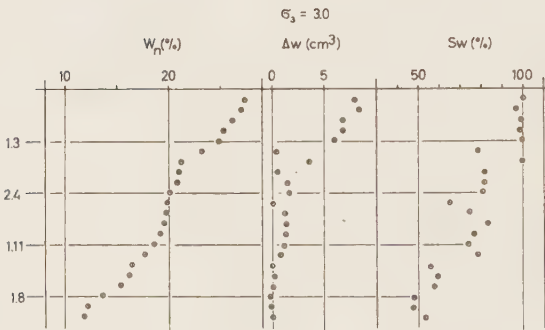


Abb. 31

Konsolidationsverhalten aller Ton-Proben bei allseitigem Druck $\sigma_3 = 3.0 \text{ kg/cm}^2$.

Mit einer Zusammenstellung aller Proben, einem Vergleich zwischen natürlichem Wassergehalt (W_n), Wasseranteilsveränderung bei Drainage (w) und Sättigungsgrad (S_w) kann auf das Verhalten der teilgesättigten Tone während der Kompression verwiesen werden (Abb. 31).

Sowohl nach den Bürettenständen als auch über die Trockengewichte der Proben können nur unwesentliche Veränderungen gegenüber einem Ausgangswassergehalt festgestellt werden. Eine Auftragung im Sinne der Tab. 2 erübrigt sich.

Die geringen Pegelschwankungen im Drainage-System lassen vermuten, daß unter dem Kompressionsdruck Luft ausgepreßt wurde. Inwieweit der Sättigungsgrad der Tone durch eine Verkleinerung des Porenraumes erhöht wurde, kann nicht zahlenmäßig ausgedrückt werden, da die Volumina abgescherter Proben nicht exakt zu bestimmen waren. Man muß jedoch grundsätzlich von der Tatsache ausgehen, daß bei teilgesättigtem Material aufgrund der geringen Durchlässigkeit innerhalb der aufgewendeten Zeiten keine abgeschlossene Konsolidation erreicht wurde.

Es sind somit nicht alle Proben unter einheitlichen Ausgangsbedingungen in die Abscherphase des CU-Versuches gekommen.

8.5 Scherfestigkeit der Tone.

Für jede Entnahme-Position des Tones (Abb. 25 und 26) wurde parallel ein CU-Versuch und ein Zylinderdruckversuch zur Bestimmung von Scherparametern durchgeführt. Die Zahlenangaben der Parameter Kohäsion (c'), Reibungswinkel (φ') und Zylinderdruckfestigkeit (q_u) sind in Tab. 1 zusammengestellt.

8.5.1 Zylinderdruckfestigkeit.

Die Zylinderdruckfestigkeiten wurden durch ein Abscheren unter einer Belastungsrate von 1 % Probenstauchung/min. bestimmt. Zur Beibehaltung des natürlichen Wassergehaltes während des Versuchsganges wurden die Ton-Zylinder mit einer Gummihülle umgeben.

Die Abb. 32 zeigt, daß innerhalb des untersuchten Tonkomplexes die Werte einen erheblichen Streubereich ($0.54 - 1.92 \text{ kg/cm}^2$) haben. Durch die Auftragung wird jedoch eine Abhängigkeit der Druckfestigkeit vom jeweiligen Wassergehalt der Probe dokumentiert.

Diese müßte sich für einen ungestörten wassergesättigten Ton bei semilogarithmischer Darstellung in einer linearen Beziehung ausdrücken (HENKEL, 1960).

Fast nur Proben aus höherem Niveau über den Bruchbereichen des Hauptflözes erfüllen diese Forderung.

Nimmt man die eingezeichnete Gerade als Grundlage der Proportionalität natürlicher Wassergehalt/Zylinderdruckfestigkeit für einen ungestörten Materialverband, so weisen die Tone aus den Pfropfen der Bruchbereiche eine Abminderung auf, die maximal den Faktor 4 erreicht.

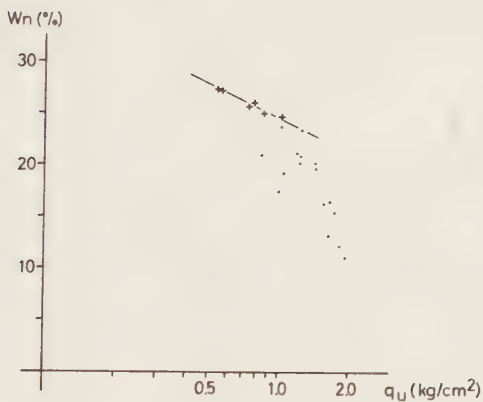


Abb. 32

Zylinderdruckfestigkeiten in Abhängigkeit vom Wassergehalt für alle untersuchten Proben.

Kreuze: höheres Niveau über den Bruchbereichen des Hauptflözes.

Punkte: Bruchbereiche im Hauptflöz.

8.5.2 Scherfestigkeit im CU-Versuch.

Zur vergleichenden Beurteilung der Scherfestigkeiten der Ton-Proben im dreiaxialen Druckversuch wurde als Bruchkriterium die maximale Hauptspannungsdifferenz $(\sigma_1 - \sigma_3)_{\max}$ angenommen.

Die exponentielle Abhängigkeit zwischen Wassergehalt und Druckfestigkeit eines ungestörten gesättigten Tones schließt nach HENKEL (1960) die maximale Hauptspannungsdifferenz des nicht entwässerten dreiaxialen Druckversuches mit ein (CU- und UU-Versuch). Deshalb können wassergehaltsmäßig sich entsprechende Werte von $q_u/2$ und $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ als Äquivalent der nicht entwässerten Scherfestigkeit C_u gleichgesetzt werden.

In den Abb. 33 und 34 wurden die Hauptspannungsdifferenzen gegen Wassergehalte getrennt für Proben aus höherem Niveau und für solche aus den Bruchbereichen aufgetragen. Tone aus höherem Niveau zeigen die geforderte klare Abhängigkeit. Die Werte aus den zugehörigen Zylinderdruckversuchen passen sich ebenfalls gut ein. Sie besitzen demnach neben einer vollen Wassersättigung (S. 55) einen ungestörten Materialverband.

Die Ergebnisse für Proben aus den Bruchbereichen streuen über ein relativ großes Feld. Die beiden möglichen Einflußfaktoren Teilsättigung und gestörter Materialverband können vom Prinzip der Untersuchungsmethode her nicht getrennt beurteilt werden.

Als zusätzliche Aussage kann durch diese Zusammenstellung aller Proben darauf verwiesen werden, daß aus den Angaben der CU-Versuche innerhalb des untersuchten Ton-Komplexes keine Unterscheidung hinsichtlich der Absolut-Werte der Scherfestigkeit des Tones vorgenommen werden kann. Nimmt man jedoch wieder die Gerade aus Abb. 33 als Grundlage der Proportionalität Wassergehalt/maximale Hauptspannungsdifferenz für einen ungestörten Ton, so liefern die Proben aus den Bruchbereichen größtenteils zu geringe Scherfestigkeiten (vergl. Abb. 34).

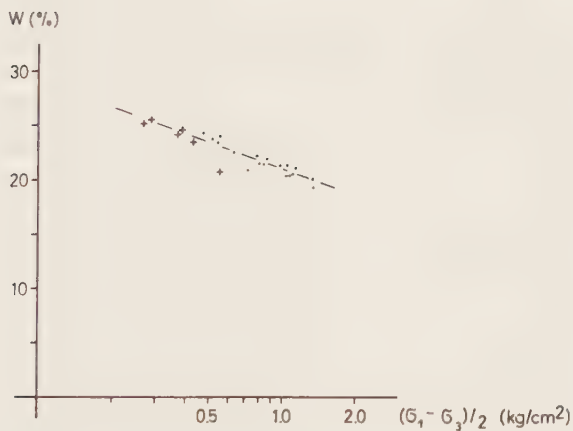


Abb. 33

Abhängigkeit zwischen Wassergehalt und maximaler Hauptspannungsdifferenz für Proben aus höherem Niveau über den Bruchbereichen.

Kreuze: zugehörige halbe Zylinderdruckfestigkeiten.

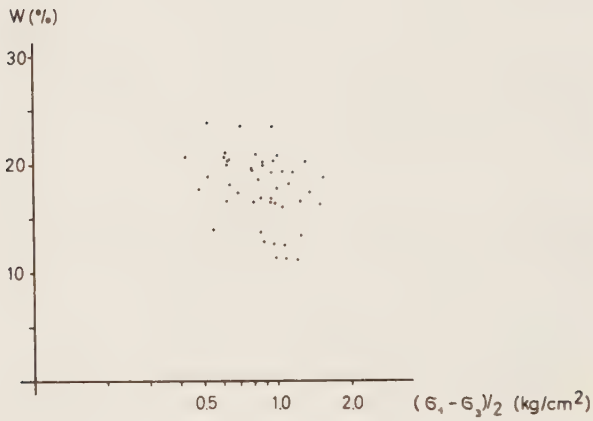


Abb. 34

Abhängigkeit zwischen Wassergehalt und maximaler Hauptspannungsdifferenz für Proben aus den Bruchbereichen.

8.5.3 Kohäsion und Reibungswinkel.

Die Scherfestigkeiten der Ton-Proben sind zwar im Rahmen der aufgetragten Normalspannungen kaum unterschiedlich, doch ihre Komponenten Kohäsion und Reibungsfestigkeit streuen innerhalb weiterer Grenzen (Scher-Diagramme, Anhang S. 95).

Größere Reibungswinkel korrespondieren mit geringer Kohäsion und größere Kohäsion mit kleinen Reibungswinkeln ($\hat{c} = 0,76 \text{ kg/cm}^2$ - $\varphi' = 7.0^\circ$; $\hat{c} = 0.22 \text{ kg/cm}^2$ - $\varphi' = 23.0^\circ$). Diese ungewöhnlichen Proportionalitäten können nur aus äußeren Bedingungen erklärt werden.

Als wichtiger die Kohäsion beeinflussen-der Faktor kommt der Wassergehalt der Proben in Frage. Nur wassergesättigte Tone mit vergleichbarem Ausgangswassergehalt wiesen ein einheitliches Konsolidationsverhalten auf (S. 61).

Ihre Kohäsionsanteile schwanken auch nur geringfügig ($c' = 0.18\text{-}0.28 \text{ kg/cm}^2$), die Kohäsionsanteile der teilgesättigten Tone erweisen sich als undeutlich abhängig von den natürlichen Wassergehalten, die durch den Konsolidationsvorgang kaum verändert wurden (Abb. 35).

Derartige Beziehungen entsprechen auch den Untersuchungsergebnissen an teilgesättigten, bindigen Böden nach BISHOP & BJERRUM (1960).

Die unterschiedlichen Ton-Anteile der Proben, die ihren Ausdruck in variierenden Plastizitätseigenschaften finden (Abb. 26), sollten die Größe zu ermittelnder Reibungswinkel in der Weise beeinflussen, daß eine reziproke Abhängigkeit zwischen Reibungswinkel und Plastizitätszahl zustande kommt (SKEMPTON, 1948; BJERRUM, 1954 et al.). Diese sollte sich bei Auftragung der Plastizitätszahl (W_{fa}) gegen den Reibungswinkel nur durch einen relativ engen Streubereich um eine leicht gekrümmte Kurve äußern.

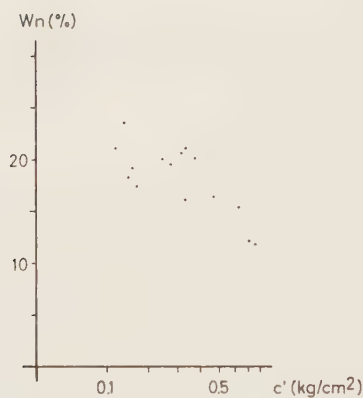


Abb. 35

Kohäsion/natürlicher Wassergehalt
für teilgesättigte Ton-Proben.

Die Abb. 36 zeigt, daß die geforderte reziproke Abhängigkeit zwischen Plastizität und Reibungswinkel für den untersuchten Komplex nicht besteht. Die Zuordnung der Werte untereinander deutet im Gegenteil verschwommen darauf hin, daß hohen Plastizitäten größere Reibungswinkel und niedrigen Plastizitäten kleinere Reibungswinkel entsprechen.

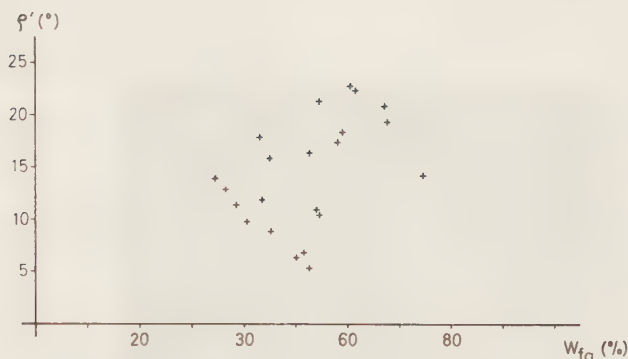


Abb. 36

Beziehung zwischen Plastizitätszahl und Reibungswinkel für alle untersuchten Ton-Proben.

Dieses Ergebnis unterstützt die Aussage von S.66 , wonach Entnahme-Positionen aus den Bruchbereichen im Hauptflöz eine Störung des Materialverbandes zukommt.

Diese Strukturstörung kann sich mit einer plastischen Durchbewegung des Tones und/oder mit vorgegebenen Gleitflächen geäußert haben. Gerade das Letztere führt erfahrungsgemäß zu einer starken Abminderung des Reibungswinkels wie z. B. Untersuchungen am London-clay gezeigt haben (HENKEL & SKEMPTON, 1955).

Phänomenologische Merkmale, die auf vorgegebene Gleitflächen schließen lassen, konnten in Einzelfällen anhand der Probenzylinder zum Scherversuch gerade bei den Tönen beobachtet werden, die extrem niedrige Reibungswinkel erbrachten. Schon vor Versuchsdurchführung fielen Diskontinuitätsflächen im Material auf, die durch leicht sandigen Belag hell hervortraten (1.5; 1.6; 1.7).

Ein charakteristisches Beispiel für eine vorbestimmte Fläche, entlang von der abgeschert wurde, ist auf Abb. 37 dargestellt.



Abb. 37

Vorgegebene Gleitfläche eines gestörten Tones (Probe 1.5).

8.5.4 Verhalten bei unterschiedlichen Belastungsraten.

Um möglichst ähnliche Ausgangsbedingungen zu schaffen, ohne auf homogenisiertes, gestörtes Material zurückgreifen zu müssen, bot sich eine Gegenüberstellung zweier Test-Serien für ungestörte Tone an, deren Eigenschaften in qualitativer und quantitativer Sicht (natürlicher Wassergehalt, Plastizität, Kornverteilung und mineralogische Zusammensetzung) keine größeren Differenzen aufwiesen.

Die erste Test-Reihe (1.1 - 1.3) war der im CU-Versuch üblichen Belastungsrate von 0.1 % Probenstauchung/min unterworfen worden; die zweite Test-Reihe (2.1 - 2.3) wurde mit 0.02 %/min abgeschert.

Im Ganzen standen somit 18 Einzelproben zur Verfügung. Vorangestellt werden soll die Erklärung, daß die Exemplare jeder Serie sich untereinander im Verhalten während der Abscherphase ähnelten, jedoch zu solchen der anderen Test-Reihe deutliche Unterschiede aufzeigten.

Aus dem Vergleich von Drucksetzungs-Diagramm für je einen repräsentativen Langzeit- und Kurzzeit-Versuch (Tab. 2 und Abb. 38, 39) können spezifische Aussagen hinsichtlich Spannungsentwicklung bis zur jeweiligen Bruchbedingung gemacht werden.

Im Falle des Langzeit-Testes entwickelt sich zeitlich die Maximalbelastung bis zum Bruchpunkt erst allmählich und erreicht im Bereich der bezogenen Setzung $\Delta h/h_a = 0,08$ ihren Höchstwert, d. h. der Hauptanteil des Spannungsverlaufes ist durch eine plastische Verformung des Tones charakterisiert.

Die korrespondierenden Angaben zum Kurzzeit-Versuch führen eine Bruchbedingung bei $h/h_a = 0.04$ vor Augen. Der Bereich der Verformung ist relativ gering, größere Bedeutung kommt einem Gleiten bei ungefährrer Spannungs-konstanz auf den sich entwickelnden Scherflächen zu.

Pr.Nr.	Konsolidationsdruck (kg/cm ²)			
	1.0	2.0	3.0	
1/1	0.052	0.050	0.051	
1/2	0.040	0.041	0.043	
1/3	0.046	0.044	0.043	
2/1	0.091	0.089	0.090	
2/2	0.080	0.085	0.082	
2/3	0.082	0.082	0.084	

Tab. 3

Bezogene Setzung bei Bruchbedingung im CU-Versuch für Tone im Langzeit- und Kurzzeit-Test.

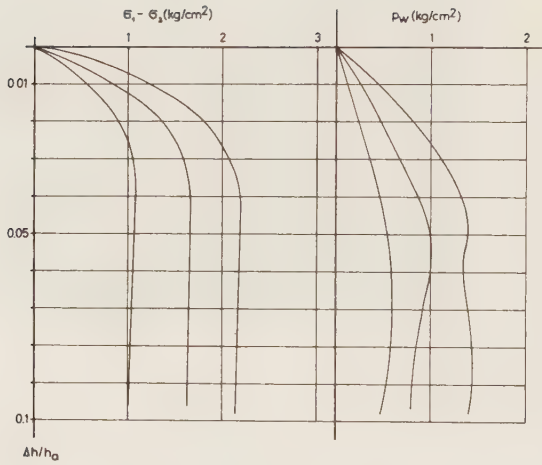


Abb. 38

Drucksetzungs-Diagramm für einen
CU-Kurzzeit-Versuch (Pr.Nr. 1.2)

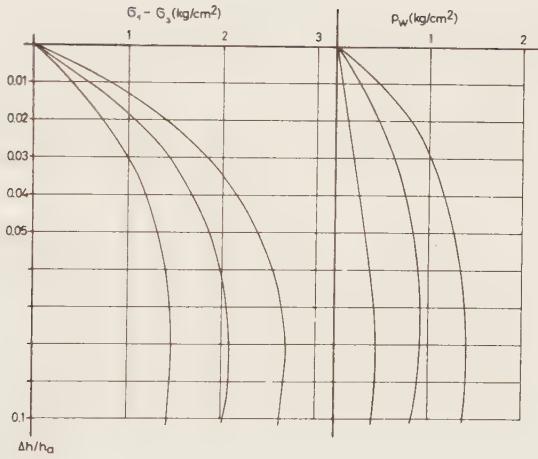


Abb. 39

Drucksetzungs-Diagramm für einen
CU-Langzeit-Versuch (Pr.Nr. 2.2)

Betrachtet man zum eben dargestellten Spannungsverlauf der Drucksetzungskurven den der zugehörigen Porenwasserdrücke, so fällt für alle Langzeit-Versuche das kongruente Verhalten zwischen Maximal-Porenwasserdruck und maximaler Hauptspannungsdifferenz auf, d. h. mit dem Höchstdruckwert für das Wasser im Porenraum ist der jeweilige Bruchpunkt der Probe klar definiert.

Ein derartiger Zusammenhang ist für die untersuchten Tone im Kurzzeit-Test nicht erkenntlich. Der Extremwert des Porenwasserdruckes ist kein sicheres Kriterium für die Bruchbedingung. Er wird bei fast allen Einzelversuchen der Test-Reihe erst nach beginnender Scherung erreicht.

Die wirksamen Maximalspannungen im Bruchpunkt unterscheiden sich nicht für Lang- oder Kurzzeitversuche. Die geringere Scherrate erlaubt es dem Ton jedoch bessern, sich auf eine Veränderung der Spannungen einzustellen. Dies kommt durch die Kongruenz zwischen Porenwasserdruckentwicklung und Anstieg der Hauptspannungen zum Ausdruck. Vergleichende Untersuchungen an ungestörten Tönen haben gezeigt, daß eine 10-fache Abminderung der Belastungsrate sich nur in einer 5 %-tigen Verringerung der maximalen Hauptspannungsdifferenz ausdrückt (BISHOP/HENKEL, 1957). Daraus wird verständlich, daß mit den Lang- und Kurzzeitversuchen keine unterschiedlichen Scherparameter gefunden wurden.

8.6 Folgerungen aus bodenmechanischen Untersuchungsergebnissen.

Mit zwei Versuchsserien (1.1 - 1.11 und 2.1 - 2.11) wurde vergleichend untersucht, inwieweit das Eindringen der tonigen Hauptflöz-Deckschichten in bergbauliche Hohlräume Störungen im Materialverband des Tones verursacht hat. Der relativ enge Streubereich um die Mittelwertsgerade der kolloidalen Aktivität (Abb. 26 - 0.71) zeigte parallel zu röntgenographischen Analysen, daß die untersuchten Ton-Proben von einheitlicher mineralogischer Zusammensetzung (vorherrschend Ton-Mineraie der Kaolinit-Reihe) sind.

Die Ton-Proben, die aus höherem Niveau zentral über den Bruchbereichen im Hauptflöz entnommen worden waren, können zwar theoretisch nicht abzuschätzenden plastisch-fließenden Veränderungen unterworfen gewesen sein, besitzen jedoch hinsichtlich ihres Scherverhaltens einen ungestörten Materialverband. Sowohl ihre Zylinderdruckfestigkeiten als auch ihre maximalen Hauptspannungsdifferenzen hängen unmittelbar mit den Wassergehalten während des Abscherens zusammen (Abb. 32, 33). Ihnen entsprechen Kohäsionsanteile um 0.20 kg/cm^2 und Reibungswinkel um 21.0° . Sie haben einheitliche natürliche Wassergehalte (um 26 %) und ungefähr gleiche prozentuale Anteile an Ton (um 90 %).

Proben, die aus den Ton-Pfropfen der Bruchbereiche im Hauptflöz entnommen worden waren, weisen eine große Streuung innerhalb ihrer bodenmechanischer Parameter auf. Charakteristisch für sie ist die Tatsache, daß Material aus den randlichen Positionen der Pfropfen häufig einen sehr niedrigen Sättigungsgrad (min. 47 %) besitzt, korrespondierend mit einem geringen Wassergehalt (min. 11.0 %), und im Gegensatz zu Ton höherer Entnahme-Position einen Gehalt an Feinsand zeigt (max. 25,3 %).

Ihre Zylinderdruckfestigkeiten liegen, verglichen mit ihren Wassergehalten viel zu niedrig (Abb. 32).

Die entsprechende Abminderung der Scherfestigkeiten im CU-Versuch tritt nicht so deutlich hervor; (Abb. 34). Hier streuen jedoch die Werte der Reibungswinkel mit allen Übergängen zwischen 5.5° und 18.0° .

Gerade geringe Reibungswinkel für diese halbfesten Tone scheinen ein deutliches Merkmal einer Störung im Materialverband zu sein, für die auch gewisse phänomenologische Indizien gefunden worden waren (Abb. 39). Auffallend sind dabei die teilweise hohen Kohäsionsanteile.

Um einen möglichen Zusammenhang zwischen niedrigem Reibungswinkel und höherem Beanspruchungsgrad des Tones während der Bewegung näher zu untersuchen, sollen ihre Zahlenwerte mit den jeweiligen Entnahme-Positionen verglichen werden.

In der Aufschlußwand im Tagebau waren parallel zur Neigung der linken Begrenzung des eingesunkenen Tonkörpers deutliche Scherflächen erkannt worden (Abb. 40, vergleiche mit Abb. 10). Betrachtet man die zugehörigen Reibungswinkel dieses Bereiches, stellt man eine erhebliche Abminderung der Werte gegenüber solchen der mittleren und rechten Position im Pfropfen fest. Im Falle des zweiten untersuchten Tonkörpers sind derartige standortgebundenen Unterscheidungsmöglichkeiten nicht hervorstechend (Abb. 41). Es zeigt sich, daß der obersten und untersten Entnahme-Position die größten Reibungswinkel entsprechen. Allgemein aber liegen die Werte deutlich unter denen aus höherem Niveau über dem Bruchbereich.

Gewisse Beziehungen zwischen einer Beanspruchung des Tones, die sich sichtbar mit der Anlage größerer Scherflächen äußert, und abgeminderten Reibungswinkeln sind also gegeben. Da die Ansatzpunkte der Probenentnahmen nicht in den Bruchzonen lagen, müssen auch die scheinbar ungestörten Bereiche zwischen ihnen beansprucht worden sein.

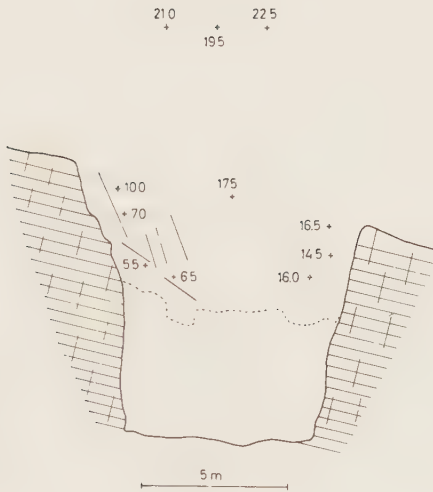


Abb. 40

Beziehung zwischen Größe des Reibungswinkels und Proben-Entnahme-Position für die erste Versuchsserie.



Abb. 41

Beziehung zwischen Größe des Reibungs-
winkels und Proben-Entnahme-Position
für die zweite Versuchsserie.

Hinsichtlich der Art der Beanspruchung solcher homogen-ungestört erscheinender Bereiche kann auf die Merkmale verwiesen werden, die in Zusammenhang mit der Abb. 12 beschrieben worden waren. Ergänzt man hierzu die vorgenannten bodenmechanischen Versuchsergebnisse, kommt man zu folgendem Bild:

Beim Absinken des Tones in mehr oder weniger begrenzte Bruchräume werden über eine Kantenbelastung der Flözränder lokal hohe Spannungen erzeugt, die sich mit einer Staffelung von Scherflächen zum Hangenden ausgleichen. Die somit schon stärker beanspruchten peripheren Zonen eines allmählich einsinkenden Pfropfens erleiden eine zusätzliche Scherbelastung durch eine hohe Wandreibung an der intakten Kohle, deren Scherfestigkeit höher als die des Tones liegt. Im Material bildet sich anfänglich eine Vielzahl engstehender, paralleler Gleitbahnen aus, wodurch der Ton in feine Lamellen zergliedert wird. Die Einzelbeträge entlang solcher Gleitflächen können so gering sein, daß kaum eine Unterscheidung zwischen plastisch-fließendem und scherendem Verhalten zu treffen ist. Bei anhaltender Scherbelastung konzentrieren sich schließlich die Bewegungen auf größere, deutliche Gleitbahnen parallel zu den Rändern der Kohle. Diese sind heute in den Aufschlußwänden sichtbar.

Zusätzliche Hinweise auf den Bewegungsmechanismus der Pfropfen ergeben sich aus Wassergehalt, Teilsättigung und Sand-Gehalt entsprechender Proben. Der erhöhte Sandanteil verschiedener Tone aus den Bruchbereichen dürfte Fremd-Material darstellen, das der 60 - 80 cm dicken, sandigen Überlagerung des Hauptflözes entstammt und während des Absinkens eingeschmiert wurde (Abb. 12). Die Teilsättigung der Tone dürfte auf Austrocknung zurückzuführen sein, da vermutlich die untersuchten Pfropfen sich längere Zeit über einem freien Raum bewegten.

Eine fünffache Verringerung der zeitlichen Spannungsaufbringung im CU-Versuch (0.1 %/min auf 0.02 %/min) beeinflusst das Scherverhalten ungestörter Tone schon derart, daß sie auf das Ansteigen des Druckes vorwiegend mit plastischem Fließen reagieren (vergleiche Abb. 38 und Abb. 39). Neben Abscherungen sind also plastische Durchbewegungen während der Senkungsvorgänge der Tone einzukalkulieren. Diese dürften bevorzugt in zentralen Bereichen großvolumiger Senkungskörper auftreten; dort, wo langfristig relativ unveränderte Spannungszustände herrschen, die sich aus dem Eigengewicht der bewegten Massen ergeben. Vom plastischen Fließen über Scherflächen im Ansatz bis zu deutlichen Großgleitflächen hat der Ton, je nach lokalem Beanspruchungsgrad, jedes Verhalten gezeigt. Dies dürfte zahlenmäßig mit den ermittelten Reibungswinkeln zum Ausdruck kommen, die mit allen Übergängen Werte zwischen 5.5° und 23.0° einnehmen. Vorgegebene Gleitflächen, eindeutige Trennflächen im Ton, deren Reibungsfestigkeit im Zylinderdruckversuch bzw. im CU-Versuch bestimmend war, konnten nur in wenigen Fällen erkannt werden (Abb. 37). Ihnen sind die für halbfeste Tone untypischen, extrem niedrigen Reibungswinkel unter 10° zuzuordnen.

9.0 BEWEGUNGSVORGÄNGE IM BERGSENKUNGSFELD MITTELTHAL IN RÄUMLICHER UND ZEITLICHER SICHT

9.1 Angaben zum alten Bergbau.

Die im Tagebau-Bereich aufgeschlossenen Schnitt-Strukturen der Bruch- und Sackungserscheinungen zeigen, daß dem ehemaligen Kohle-Abbau methodisch kein einheitliches Konzept zugrunde lag.

Dies ist verständlich, da zwei bergbauliche Gewinnungsphasen umgegangen sind (Weitungsbau bis 1905 und abgewandeltes Pfeilerbruchbau-Verfahren im Zeitraum 1921 - 23).

Nach dem älteren Bergbau lag im Untersuchungsgebiet noch ein System von verbauten Pfeilerstrecken mit lokalen, kammerartigen Auskohlungsbereichen vor (Angaben von Bergwerksdirektor a. D. RÖHLER). Deshalb wurde wohl der modernere Pfeilerbruchbau nicht mit konsequenter Feldeinteilung, mit in zeitlich und räumlich abgestimmten Abbaufonten betrieben. Es wurde vielmehr ein mit Weitungsbau kombiniertes Verfahren angewandt, bei dem entweder bestehende Pfeilerstrecken rückschreitend verbreitert wurden (mit nachfolgender Ausraubung des Verbaus), oder lokal neue Kammern sowohl mit freitragenden Gewölben (hohe Standfestigkeit der Kohle) als auch mit Verbau geschaffen wurden. Zusätzlich wurden noch Abbaustrecken aufgefahren. Prinzipiell handelt es sich somit bei der Gewinnungsphase 1921 - 23 um einen "Nachlesebergbau". Das beschriebene Vorgehen verdeutlicht, weshalb nach den Schnitt-Strukturen im Tagebau keine Unterscheidung zwischen älterem und jüngerem Bergbau durchzuführen ist.

Soweit dies zu erkennen war, war die Streckenverbreiterung auf 3-4 m und die Grundfläche der einzelnen Kammern auf 3-5 x 5-8 m dimensioniert. Die Höhe der letzteren war wohl bei Auffahren ohne Abstützung weitgehend dem bergmännischen Geschick der Hauer überlassen, die soviel Deckenkohle unverritzt beließen, daß während der Arbeit am Ort keine spontanen Einbrüche entstehen konnten. Weiterhin wurde die Gewinnungs-

höhe der Kohle durch die technischen Möglichkeiten des ehemaligen Bergbaus bestimmt. Da die Grubenhunde zum Transport der Kohle noch per Hand bewegt wurden, konnten nur Strecken minimaler Steigung aufgefahen werden. Da das Hauptflöz generell ein nach Süden gerichtetes Einfallen hat und darüber hinaus im westlichen Grubenfeld relativ steil heraushebt, lagen die Sohlflächen der Kammern bzw. Abbaustrecken häufig in ganz unterschiedlichen Niveaus des Flözes (siehe Abb. 3 und 4; Streckensohlniveaus aus Markscheider-Unterlagen in die Bohrungen projiziert). In manchen Fällen mußten somit nach Auskohlung 3-5 m Decken- oder Liegend-Kohle unverritz zurückgelassen werden.

Eine Vermauerung von länger benutzten Streckenkreuzen wie häufig üblich wurde im Tagebau nach den Schnitten nicht vorgefunden. Sie erübrigte sich wahrscheinlich aufgrund der hohen Standfestigkeit der Kohle. Strebhölzer, die auf verbliebenen Verbau hindeuten könnten, wurden gelegentlich beobachtet.

9.2 Mechanismen der Bruchvorgänge.

Die Auslösung der ersten Bruchvorgänge nach Auskohlung eines Hauptflöz-Bereiches unterlag zeitlich und räumlich den jeweiligen äußeren Bedingungen.

Die erste Möglichkeit bestand darin, mit einer rückschreitenden Ausraubung des Verbaus die Flözdecke kontrolliert zu Bruch gehen zu lassen. Während dieses Vorganges stürzten entsprechend den Schuttrichtungen neben Stückkohle wohl mehr oder weniger große Kohle-Klötze herab, die teilweise nach Aufprall auf die Abbausohle noch ihren Verband behielten (Abb. 7). Dieses Bruchmaterial bildet in chaotisch-sperri-ger Lagerung die tiefste Füllung der ehemaligen Bergbauhohl-räume.

In einer zweiten vorstellbaren Möglichkeit behielt eine Kammer mit freitragender Gewölbedecke nach der Auskohlung ihre Standfestigkeit über einen nicht abzuschätzenden Zeitraum bei.

Der nachfolgende Bruchvorgang in der Hangend-Kohle kann dann bevorzugt über der Ulme auftreten, die im Einfallen des Flözes die stärkste Belastung aufzunehmen hat. Vor oder während des Bruches weicht die Ulme zum freien Raum hin aus, was mit einer Verstellung der kohlestoßnahen Kluftflächen zum Ausdruck kommt (Abb. 13).

In beiden Fällen wird der Hohlraum zeitlich nicht gleichmäßig durch Bruchmaterial verfüllt. Dies zeigt sich in den Schrägschichtungsgefügen, die in mehr oder weniger ausgeprägter Form vorgefunden wurden (Abb. 6).

Die Stückgröße der herabfallenden Kohle wird zum Hangenden in der Füllung immer geringer. Schließlich überwiegt Gruskohle. Die Wechselschichtung zwischen Kohle und Fein-Mittelsand deutet darauf hin, daß nach anfänglichem, chaotischen Deckenbruch ein lagenweises Einrieseln bzw. Einrutschen von Material auf einer freien Oberfläche vorherrscht.

Der 40-80 cm mächtige Fein-Mittelsand der Kohle-Deckschicht nimmt in der Hohlraumfüllung häufig ein Volumen ein, das größer ist als die unmittelbare Überlagerungsmenge des Bruchbereiches. Die Abb. 5 zeigt, daß der Sand unter sehr flachem Winkel von den Seiten zugewandert sein muß, sodaß mit lokalem Wassertrieb gerechnet werden muß. Durch den auf S. 33 beschriebenen "Eieruhr-Effekt" kann in anderen Fällen auch Sandmaterial aus höheren Deckschichten in die Hohlräume eingerieselt sein. Die steifplastischen tonigen Hauptflöz-Hangendschichten, die bis zum Oberflöz eine Mächtigkeit zwischen 6 und 8 m aufweisen, reagieren wahrscheinlich in der Regel nicht spontan auf die Bruchvorgänge im Flözniveau. Zahlreiche Tonbrocken und kompakte Tonpakete bis zwei Meter Höhe die von Stückkohle-Lagen überdeckt werden (Abb. 19), zeigen allerdings, daß auch frühzeitig Ton-Einbrüche stattgefunden haben.

Viele Einbrüche schlagen an scharf begrenzten, nach oben sich kegelförmig aufweitenden Bruchflächen bis zur Geländeoberfläche durch. Die grabenartigen, runden oder im Streckenverlauf ausgeprägten Schlote mit Durchmessern bis zu 2 m waren im Oberflöz

deutlich zu beobachten (Abb. 18). Die Neigung dieser Bruchflächen ist schichtungsabhängig; je steiler die Schichten einfallen, umso flacher ist der Winkel, unter dem die Flächen dem Einfallen entgegengerichtet sind (min. $\pm 60^\circ$). Flächen, die nach ihrer Raumlage auf einer horizontalen Flözoberkante ansetzen, weisen mit sehr steilem Winkel vom Einbruchsbereich weg oder stehen saiger ($80^\circ - 90^\circ$). Auch die weitere Bewegung der tonigen Seknungskörper vollzieht sich bevorzugt entlang von Bruchflächen, die von den Ränder her staffel- und stufenförmig abgesetzt zum Zentrum vorrücken (Abb. 11). Mit einer solchen Abscherung von Teilmassen des Tonkomplexes wird schließlich die trichterartige Einbeulung der Gesamtscholle erzeugt. Das Verhalten, das dabei der interne Verband einsinkender Pfropfen in den unmittelbaren Bruchbereichen des Hauptflözes zeigte, wurde im bodenmechanischen Teil der Arbeit näher beschrieben (S. 81). Neben deutlichen Scherungen im Ton, die von Zugspannungen abzuleiten sind, treten untergeordnet in den zentralen Bereichen größerer Bruchkörper Pressungsvorgänge auf. Dies kommt mit Feinverfäلتelungen zum Ausdruck, die lokal beobachtet werden konnten (S. 16).

Nachdem die Resthohlräume weitgehendst verfüllt sind, kommt es unter der Auflast der Hangendschichten zu einer Konsolidation der anfänglich locker gelagerten kohlig-sandigen Füllmassen der tieferen Bruchbereiche. Mit diesem Vorgang werden sekundär Nachbewegungen in den Senkungskörpern ausgelöst (Abb. 19 und 20).

Die Darstellung der Oberflächenmorphologie des untersuchten Teilgebietes des Bergsenkungsfeldes Mittelthal unterstreicht die nach den Schnitt-Strukturen gefundene Tatsache, daß bevorzugt isolierte Tagesbrüche stattgefunden haben (Abb. 22).

Bei der großen Verteilungsdichte dieser oberflächlichen Senkungstrichter wird das betroffene Gebiet dabei einer allgemeinen Absenkung unterworfen gewesen sein. Allerdings dürf-

ten bei den vorliegenden Überlagerungshöhen spätere, plastische Ausgleichsbewegungen in den tonigen Hauptflöz-Deckschichten hierzu wenig beigetragen haben, da über 90 % der ausgezählten Trichterformen 1959 noch Durchmesser zwischen 5 und 20 m aufwiesen.

Zahlen für ein generelles Absenkmaß des Gebietes können nicht angegeben werden, da weder Höhenlagen alter Geländepunkte vorlagen, noch großräumig eine ungestörte Oberfläche zum Zeitpunkt der Untersuchungen vorhanden war.

9.3 Zeitliche Aspekte der Bruchvorgänge.

Die Überlegungen über die Gesamtdauer der Senkungstendenzen über dem bis 1923 ausgebeuteten Hauptflöz können zunächst davon ausgehen, daß 1970/71 nach den Strukturschnitten im Tagebau keine Resthohlräume in den alten Brüchen mehr vorgefunden wurden.

Nach den Luftbildvergleichen müssen allerdings noch zwischen 1953 und 1959 echte Tagesbrüche aufgetreten sein. Diese erstaunlich späten Bewegungen können nicht mit dem Zusammenbrechen verbauter Streckenteile erklärt werden, da die Anzahl der jungen Nachbewegungen zu groß ist. Genaue Zahlenangaben können allerdings aufgrund der schlechteren Auswertbarkeit der Überfliegung 1953 nicht gegeben werden.

Nach 1959 sind keine Nachbewegungen mehr zu beobachten gewesen. Die Raumgewichtsbestimmungen (Porenziffer) und die Scherfestigkeiten der Tonproben lassen auch keine Eigenkonsolidationsbewegungen mehr erwarten. Das Gleiche gilt für die locker bis mitteldicht gelagerten Sande (vergleiche S. 36).

Der den Nachbruch verzögernde Effekt scheint im Verhalten der Tone begründet zu sein. Diese müssen vielfach über längere Zeiträume hinweg als in der Bewegung fast stagnierende Pfropfen über Resthohlräumen des Untergrundes gehangen haben; eine Annahme, die durch die auf S. 81 erwähnten Austrocknungserscheinungen eine zusätzliche Stützung erhält.

10.0 LITERATURVERZEICHNIS

ANDERSON, H.J., GRAMANN, F., RITZKOWSKI, S.,

SONNE, V. & TOBIEN, H.:

Führer zur Oligozän-Exkursion 1969.-

Marburg 1969.

BAATZ, H.:

Das Kaufunger Tertiär östlich von Kassel.-

Dipl.-Arbeit Marburg 1959.

.....:

Stratigraphische und paläogeographische Untersuchungen im
Kasseler Tertiär.-

Diss. Marburg 1960.

BARTHOLMAI, H.:

Die technisch-wirtschaftliche Entwicklung des Braunkohlen-
bergbaus im Bergrevier Kassel.-

Diss. Bergakademie Clausthal, Leipzig 1936.

BISHOP, A.W. & DONALD, F.:

The experimental study of partly saturated soils in
the triaxial apparatus.-

Proc. V. Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., 1,

Paris 1961.

BISHOP, A.W. & HENKEL, D.J.:

Pore pressure changes during shear in two undisturbed
clays.-

Proc. III. Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., 1,

Zürich 1953.

BISHOP, A.W. & HENKEL, D.J.:

The measurement of soil properties in the triaxial
test.-

Edward Arnold, London 1957.

BJERRUM, L.:

Theoretical and experimental investigations on the shear strength of soils.-

Norges Geotekniske Ins., 2, Oslo 1954.

BOSSE, H.:

Tektonische Untersuchungen an Niederhessischen Grabenzonen südlich des Unterverrasattels.-

Göttinger Beitr., 3, Berlin 1931.

BRETH, H. & WANOSCHEK, H.R.:

Der Einfluß der Restfestigkeit auf die Entstehung und den Ablauf von Rutschungen.-

Bauingenieur, 45, 9, Berlin 1970.

BROSIUS, M.:

Die Tertiärmulde von Glimmerode.-

Hess. Lagerstättenarch., 4, Hess. L.-Amt Bodenforsch., Wiesbaden 1959.

CASAGRANDE, A.:

Die Aräometer-Methode zur Bestimmung der Kornverteilung von Böden.-

Springer-Verlag, Berlin 1934.

CASAGRANDE, A. & WILSON, H.:

Effect of rate of loading on the strength of clays and shales at constant water content.-

Géotechnique, 2, London 1951.

Geschichte des bergbaulichen Vereins Kassel.-

Jubiläumsschrift d. Bergbaulichen Vereins Kassel, Kassel 1962.

GIBSON, R.E.:

Experimental determination of the cohesion and true angle of internal friction in clays.-
Proc. III. Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., 1,
Zürich 1953.

GIBSON, R.E. & HENKEL, D.J.:

Influence of duration of tests at constant rate of strain on measured "drained" strength.-
Géotechnique, 4, London 1954.

GÖRGES, J. & PENNDORF, H.:

Das niederhessische Tertiär und seine marinen Ablagerungen.-
Notizbl. Hess. L.-Amt Bodenforsch., 80, Wiesbaden 1952.

HAGEMANN, R.:

Der hessische Braunkohlenbergbau, eine wirtschaftsgeographische Untersuchung.-
Der hess. Raum, 2, Marburg 1939.

HENKEL, D.J.:

The correlation between deformation, pore-water pressure, and strength characteristics of saturated clays.-
Ph. D. Thesis, University of London, London 1958.

.....:

The relationships between the strength, pore water pressure and volume-change characteristics of saturated clays.-
Géotechnique, 2, London 1959.

.....:

The relationships between the effective stresses and water content in saturated clays.-
Géotechnique, 10, London 1960.

HERRMANN, R.:

Auslaugung durch aufsteigende Mineralwässer als Ursache von Erdfällen bei Bad Pyrmont.-

Geol. Jb. 85, Hannover 1968.

HVORSLEV, M.J.:

Über die Festigkeitseigenschaften gestörter, bindiger Böden.-

Ing. Vidensk. Skr. A, 45, Danemarks Natur-Vidensk. Samfund, Kopenhagen 1937.

JAKOBSON, B.:

"Origin cohesion" of clays.-

Proc. III. Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., 1, Zürich 1953.

JASMUND, K.:

Die silicatischen Tonminerale.-

Chemie-Verlag, Weinheim/Bergstr. 1955.

JENNINGS, F.:

A revised effective stress law for use in the prediction of the behaviour of unsaturated soils.-

Proc. Conf. on Pore Pressure and Suction in Soils, London 1960.

KLEIN, G.:

Handbuch für den deutschen Braunkohlenbergbau.-

Halle 1927.

KLÜPPEL, W.:

Über die natürliche Gliederung des hessischen Tertiärs und den Bewegungsmechanismus in tektonischen Senkungsfeldern.-

Geol. Rdsch., 19, Stuttgart 1928.

LANDAU, E.:

Geschichte der hessischen Alaunbergwerke.-

Z. d. Vereins f. hess. Geschichte und Landeskunde, 6,
Marburg 1853.

LIPPMANN, F.:

Mineralogische Untersuchungen zu einigen niederhessischen Tertiärtonen (unter besonderer Berücksichtigung der D.T.A.).-

Heidelb. Beitr. Min. u. Petr., 3, Heidelberg 1952.

NEUWIRTH, G.:

Bewegungsvorgänge im Kalibergbau des Werra-Fulda-Gebietes.-

Diss. Berlin 1959.

NEWLAND, P.L. & ALLELY, B.H.:

A study of the consolidation characteristics of a clay.-

Géotechnique, 10, London 1960.

PFLUG, H.D.:

Zur Altersfolge und Faziesgliederung mitteleuropäischer (insbesondere hessischer) Braunkohlen.-

Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforsch., 85, Wiesbaden 1957.

PRINZ, H.:

Fossile Einbruchsschlote im Mittleren Buntsandstein der Vorderrhön, entstanden durch Auslaugung von Salzgesteinen im tieferen Zechsteinuntergrund.-

Rock Mechanics, Suppl. 1, Amsterdam 1970.

RENDULIC, L.:

Ein Grundgesetz der Tonmechanik und sein experimenteller Beweis.-

Bauingenieur, 18, Berlin 1937.

REUTER, F. & R.:

Ingenieurgeologische Beurteilung und Klassifikation von
Auslaugungserscheinungen (Hinweise für das Bauen in aus-
laugungsgefährdeten Gebieten).-

Freib. Forsch.-H., C 127, Berlin 1962.

RICHTER-BERNBURG, G.:

Der Zechstein zwischen Harz und Rheinischem Schiefer-
gebirge.-

Z. deutsch. geol. Ges., 105, 4, Hannover 1955.

SCHRÖDER, E.:

Tektonische Studien an niederhessischen Gräben.-

Göttinger Beitr., 1, Berlin 1924,

SCHULTZE, E. & MUHS, H.:

Bodenuntersuchungen für Ingenieurbauten.-

Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York 1967.

SKEMPTON, A.W.:

A possible relationship between true cohesion and the
mineralogy of clays.-

Proc. II. Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., 1,
London 1948.

.....:

The colloidal "activity" of clays.-

Proc. III. Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., 1,
Zürich 1953.

.....:

Long-term stability of clay slopes.-

Géotechnique, 14, 2, London 1964.

STECKHAN, W.:

Der Braunkohlenbergbau in Nordhessen.-

Hess. Lagerstättenarch., 1, Hess. L.-Amt Bodenforsch.,
Wiesbaden 1952.

TAYLOR, D.W.:

Research on consolidation of clays.-

Sanit. Eng., Ser. 82, Massachusetts Inst.

Technol. Dept. Civ., Massachusett 1942.

UDLUFT, H.:

Der geologische Aufbau und die Entstehung der hessischen
Tonvorkommen.-

TIZ-Zbl., 75, 17/18, Wilhelmshafen 1951.

UDLUFT, H. & LANG, H.D.:

Der Untergrund der Niederhessischen Senke.-

Notizbl. Hess. L.-Amt Bodenforsch., 84, Wiesbaden 1956.

WIGAND, K.:

Chronik des hessischen Bergbaus.-

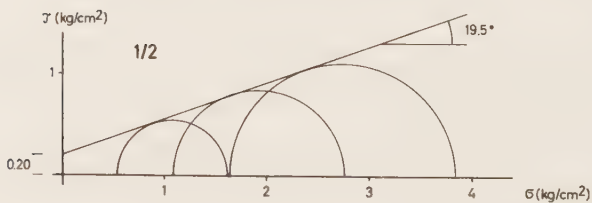
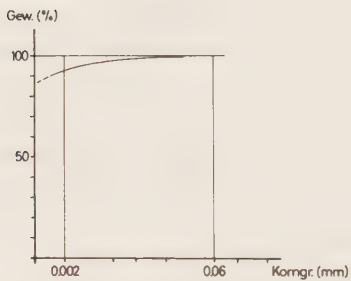
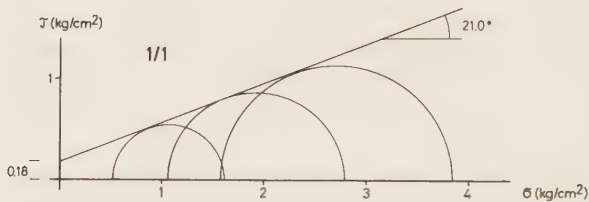
Bergbaulicher Verein Kassel, Kassel 1956.

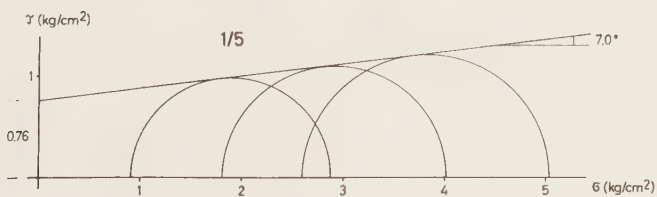
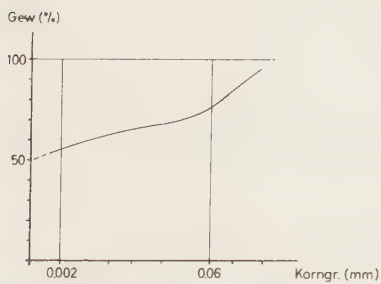
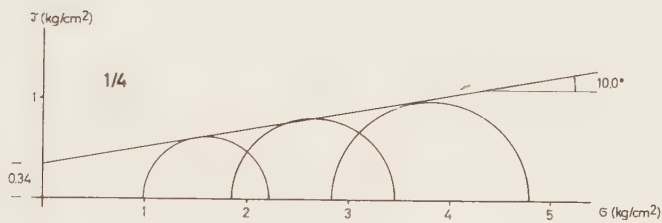
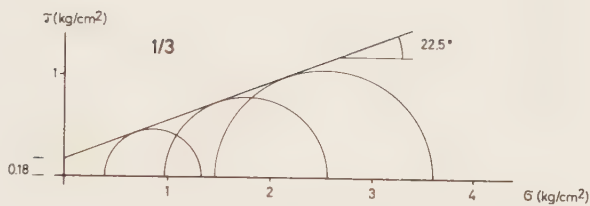
11.0 ANHANG

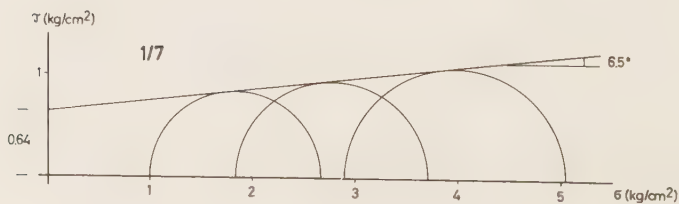
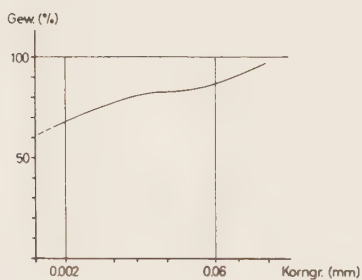
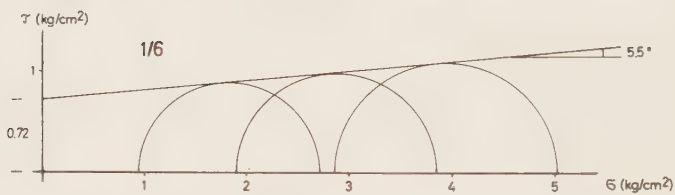
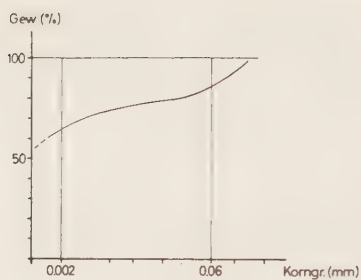
11.1 Scher-Diagramme.

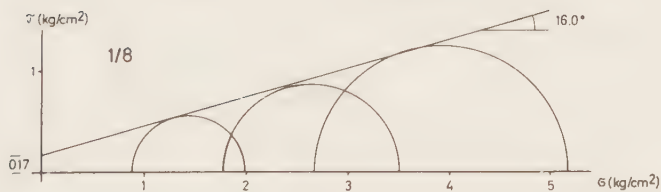
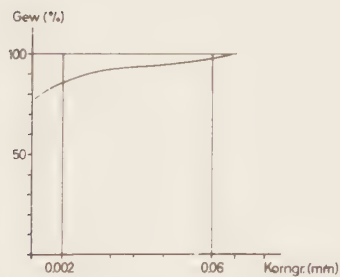
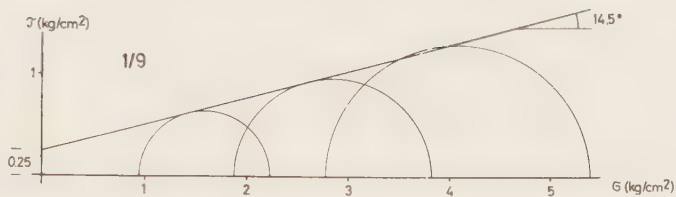
Proben der Versuchsserie 1

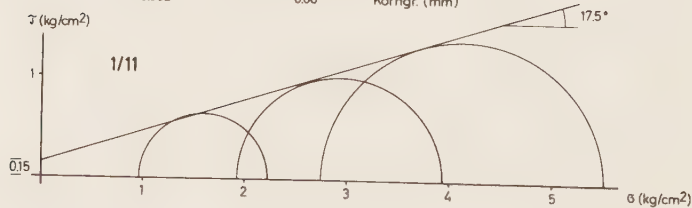
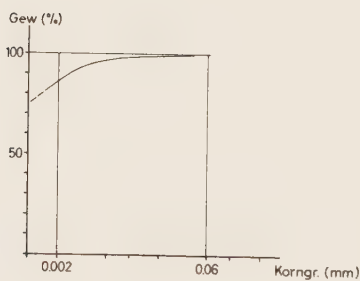
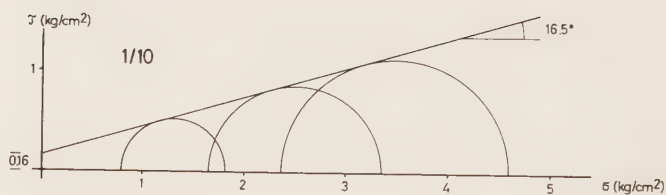
Entnahmeposition: siehe Abb. 23



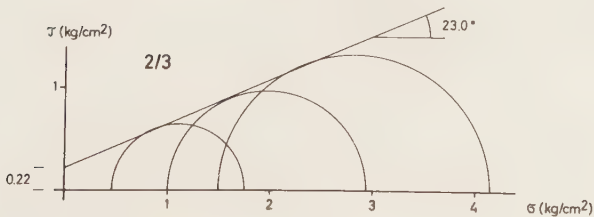
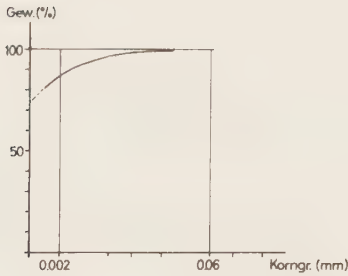
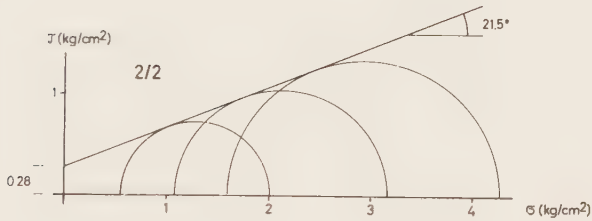
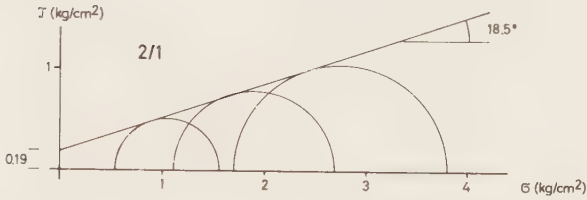


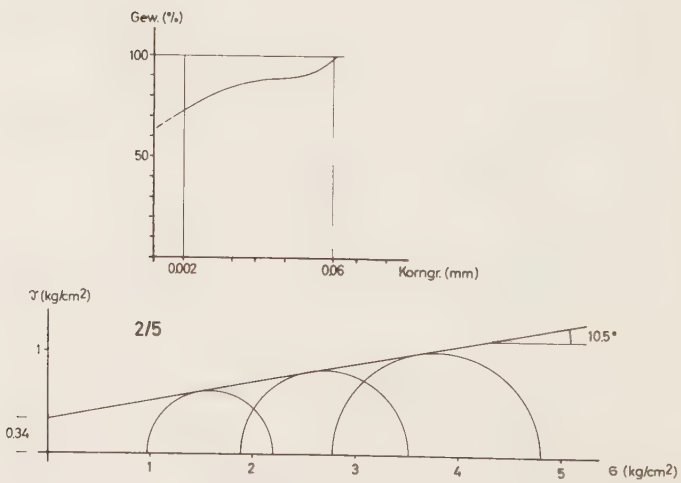
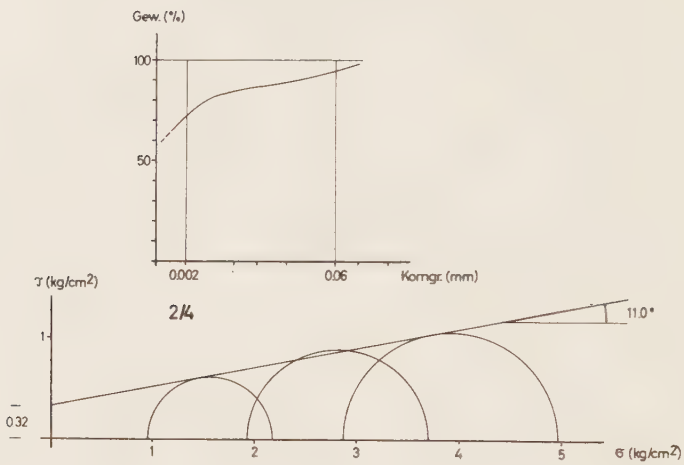


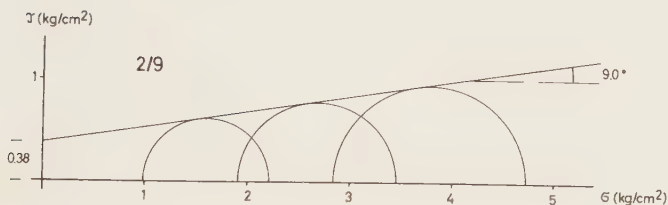
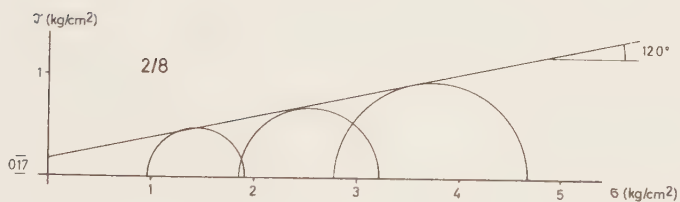
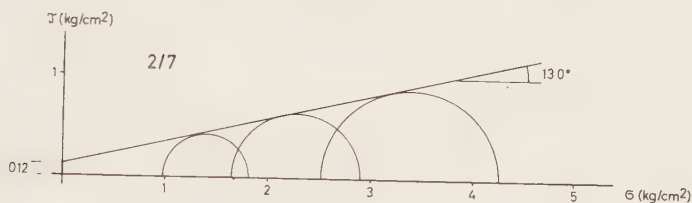
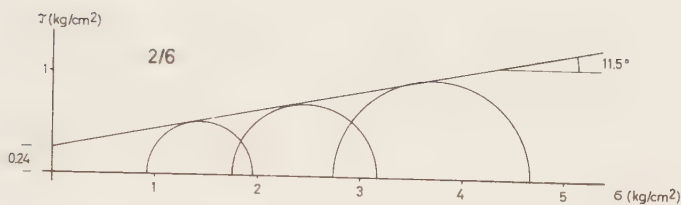


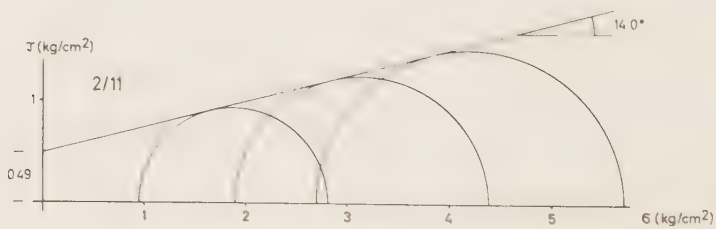
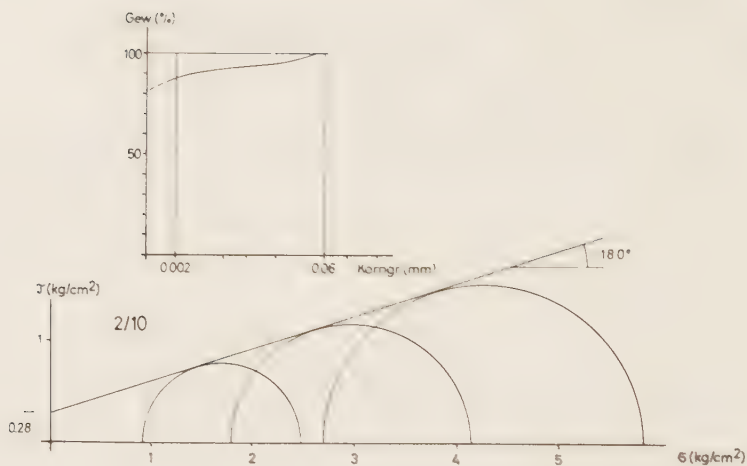


Proben der Versuchsserie 2
Entnahmeposition: siehe Abb. 24









11.2 Bohr-Unterlagen.

(unveränderte Übernahme nach Berichten der Aufschluß- und Tiefbohrgesellschaft, Frankfurt/M. und der Firma Willy Thiele, Celle)

BOHRUNG 4/62

m		
0.00 - 0.15	Mutterboden	
0.15 - 1.20	graubrauner sandiger Lehm	
1.20 - 3.90	grau - gelbbrauner sandiger Schluff	
3.90 - 5.80	grauer Ton	
5.80 - 7.60	graubrauner Schluff	
7.60 - 8.95	grauer Ton	
8.95 - 9.15	graubrauner Ton	
9.15 - 9.60	graubrauner Ton mit Kohlestreifen	
9.60 - 10.30	Kohle mit Tonstreifen	
10.30 - 11.80	blaugrauer Ton	
11.80 - 14.00	grauer - bunter Schluff mit Sandstreifen	
14.00 - 14.90	Kohle mit Tonverunreinigungen	
14.90 - 16.70	Kohle, rein	
16.70 - 19.15	dunkelbrauner Sand, oben kohlig	

BOHRUNG 5/62

m		
0.00 - 0.20	Mutterboden	
0.20 - 3.45	weicher, sandiger Lehm	
3.45 - 6.30	schluffiger Sand mit tonigen Kohlebeimengungen	
6.30 - 6.75	tonige Kohle	
6.75 - 12.10	graubrauner bis gelber Sand und Schluff	
12.10 - 13.30	grauer Ton mit Sandstreifen	
13.30 - 13.50	kohliger brauner Ton	
13.50 - 20.15	reine Kohle	

BOHRUNG 5/62

m

20.15 - 20.90 brauner Ton mit Kohlebeimengungen
20.90 - 22.45 Kohle
22.45 - 23.05 dunkelbrauner Sand

BOHRUNG 7/62

m

0.00 - 0.90 lehmiger Sand
0.90 - 2.40 brauner sandiger Lehm mit Geröllen
2.40 - 4.85 Kohle
4.85 - 5.00 Kohle mit Tonbeimengungen
5.00 - 5.70 Kohle
5.70 - 9.20 Alter Mann
9.20 - 9.45 Kohle, stark sandig
9.45 - 11.55 dunkelbrauner bis grauer Sand

BOHRUNG 1/69

m

0.00 - 1.80 Lehm, sandig
1.80 - 4.80 Geröll
4.80 - 5.90 Ton
5.90 - 6.10 Kohle
6.10 - 14.00 Ton, grau
14.00 - 15.70 Kohle
15.70 - 23.30 Ton, sandig
23.30 - 31.30 Kohle

BOHRUNG 4/69

m

0.00 - 4.20 Lehm, sandig
4.20 - 9.70 Ton, grau
9.70 - 11.50 Kohle
11.50 - 21.40 Ton, sandig
21.40 - 26.50 Kohle
26.50 - 29.20 Sand, dunkelbraun

BOHRUNG 6/69

m

0.00 - 5.20	Ton, grau
5.20 - 6.80	Sand
6.80 - 7.40	Ton, hellbraun
7.40 - 8.90	Kohle
8.90 - 18.70	Ton, hellgrau
18.70 - 27.60	Kohle
27.60 - 29.00	Sand, braun

BOHRUNG 7/69

m

0.00 - 4.20	Lehm
4.20 - 5.70	Ton, grau
5.70 - 6.20	Sand
6.20 - 11.10	Ton, grau
11.10 - 20.90	Kohle
20.90 - 21.20	Sand, braun

BOHRUNG 8/69

m

0.00 - 0.80	Lehm
0.80 - 1.50	Geröll
1.50 - 4.20	Lehm
4.20 - 10.30	Ton, grau
10.30 - 10.60	Kohle
10.60 - 10.90	Sand
10.90 - 18.50	Kohle
18.50 - 20.40	Sand, braun

Lebenslauf

Am 13. 11. 1943 wurde ich als Sohn des Forstmeisters Johannes Staude und seiner Ehefrau Gertraude Staude in Bitterfeld, Provinz Sachsen geboren.

Ab April 1950 besuchte ich eine Volksschule in Wissen/Sieg und von Dezember 1953 bis April 1954 eine solche in Hachenburg/Ww. Anschließend war ich bis März 1960 Schüler am Neusprachlichen Gymnasium in Altenkirchen/Ww. Nach einer Umschulung auf das Naturw.-Math. Gymnasium von Dierdorf, Krs. Neuwied konnte ich im Februar 1963 die Abitur-Prüfung ablegen.

Danach trat ich als Soldat mit zweijähriger Verpflichtung in die Bundeswehr ein und leistete meinen Wehrdienst in Hess.-Lichtenau bei Kassel ab.

Mit dem SS 1965 begann mein Studium der Geologie an der Universität Marburg/Lahn. Das SS 1967 erlebte ich als Gasthörer an der TH München. Im WS 1967/68 bestand ich, nach Marburg zurückgekehrt, die Diplom-Vorprüfung für Geologen. Unter Betreuung von Prof. Dr. LINDSTRÖM absolvierte ich in den Sommermonaten 1968 und 1969 die Geländearbeiten zu einer Diplomarbeit über kambrische Sandsteine Südostschonens/Südschweden. Im September 1970 wurde mir in Marburg das Diplom für Geologen zuerkannt.

Parallel zu den Arbeiten an vorliegender Dissertation war ich seit November 1970, erst im befristeten Angestelltenverhältnis dann auf Honorarvertragsbasis, im Geologischen Landesamt von Nordrhein-Westfalen beschäftigt. Seit August 1972 bin ich Angestellter eines ingenieurgeologischen Büros.

Im Verlauf meines Studiums der Geologie waren meine akademischen Lehrer:

ANDERSON, DIMROTH, FRICKE, GUNZERT, HELLNER, HUCKRIEDE, JAKOBSHAGEN, KAMKE, KOCKEL, KOPP, LINDSTRÖM, LOHSE, PFEIL, QUENTIN, SCHMIDT-THOME, Wo. SCHMIDT, SEIDEL, von STOSCH, WALCHER, WALLISER, ZEDLITZ, ZIEGLER.

